

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE ENGENHARIA FLORESTAL
Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e
Ambientais

EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA E
ESTOQUE DE CARBONO E NITROGÊNIO EM ÁREA DE
PLANTIO MISTO DE EUCALIPTO E ACÁCIA NO NORTE
MATO-GROSSENSE

JÚLIA GRAZIELA DA SILVEIRA

CUIABÁ – MT

2018

JÚLIA GRAZIELA DA SILVEIRA

**EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA E
ESTOQUE DE CARBONO E NITROGÊNIO EM ÁREA DE
PLANTIO MISTO DE EUCALIPTO E ACÁCIA NO NORTE
MATO-GROSSENSE**

Orientador: Prof. Dr. Antonio de Arruda
Tsukamoto Filho

Coorientador: Dr. Renato de Aragão Ribeiro
Rodrigues

Dissertação apresentado à Faculdade de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte das exigências do Curso de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, para obtenção do título de mestre.

CUIABÁ – MT
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

S587e Silveira, Júlia Graziela da.

EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA E ESTOQUE DE CARBONO E NITROGÊNIO EM ÁREA DE PLANTIO MISTO DE EUCALIPTO E ACÁCIA NO NORTE MATO-GROSSENSE / Júlia Graziela da Silveira. -- 2018

xiv, 94 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Antonio de Arruda Tsukamoto Filho.

Co-orientador: Renato de Aragão Ribeiro Rodrigues.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso,

Faculdade de Engenharia Florestal, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Cuiabá, 2018.

Inclui bibliografia.

1. óxido nitroso. 2. fixadoras de nitrogênio. 3. Produtividade florestal

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
PÓS-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS
Avenida Fernando Corrêa da Costa, 2367 – Boa Esperança – CEP: 78060900 – CUIABÁ/MT
Tel: 3615-8685/3615-8641 – email: secpgcfa@ufmt.br

FOLHA DE APROVAÇÃO

Título: EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA E ESTOQUE DE CARBONO E NITROGÊNIO EM ÁREA DE PLANTIO MISTO DE EUCALIPTO E ACÁCIA NO NORTE MATO-GROSSENSE

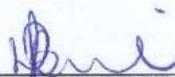
Autora: Júlia Graziela da Silveira

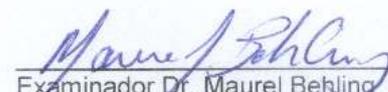
Dissertação defendida e aprovada em 22 de fevereiro de 2018

Cuiabá, 22/fevereiro 2018

Banca examinadora:


Presidente da banca/orientador: Prof. Dr. Antonio de Arruda Tsukamoto Filho
Instituição UFMT


Examinadora Prof.ª Dra. Daniele Aparecida Alvarenga Arriel
Instituição UFMT


Examinador Dr. Maurel Behling
Instituição Embrapa Agrossilvipastoril

DEDICATÓRIA

Aos meus pais **Geraldina** e **Valdnir**, meus exemplos de vida.
A minha irmã **Paula**, pela amizade, pelo companheirismo e principalmente
por estar junto a nossos pais.
A minha irmã **Liliane**, pela paciência, pela compreensão, pelo carinho
e pela grande ajuda nos momentos difíceis.
As minhas sobrinhas **Yasmin** e **Sofia**, por todo amor inocente de criança.

AGRADECIMENTOS

À Deus por tudo que tem me concedido.

A minha família, especialmente meus pais Geraldina e Valdair, por todo apoio e por serem meus maiores incentivadores. Minhas irmãs Paula e Liliane por sempre acreditarem e apoiarem minhas decisões, mesmo diante de muitas dificuldades.

Ao meu orientador Dr. Antonio de A. Tsukamoto Filho pela orientação e contribuição ao trabalho realizado. Por sempre acreditar e confiar no trabalho a mim concedido.

O meu coorientador Dr. Renato de A. R. Rodrigues, pela orientação, pelos ensinamentos, pela grande amizade e pela confiança, que tem sido um grande incentivador, não só nesse mestrado, mas desde a minha graduação. Pela disposição em sempre me auxiliar nas dificuldades que surgem e por sempre acreditar e exigir o meu máximo.

Aos pesquisadores Dr. Maurel e Dr. Eduardo, que sempre estiveram dispostos a discutir os detalhes do projeto, pelos ensinamentos, paciência e contribuição ao meu crescimento profissional e pessoal.

A professora Dra. Daniele Aparecida Alvarenga Arriel por contribuir com o trabalho.

Ao meu namorado Hemython, por estar ao meu lado nos momentos difíceis, por sempre me apoiar, me aconselhar e não me deixar desistir. Por sempre me incentivar a buscar o máximo.

Aos estagiários Jaqueline Bento, Jacqueline Miranda, Diego, Alan, Kelly, Mariana, Alécia, Marcos, Rodrigo, Vagner, Eduardo, Luana, Roni, Estela e estudantes de pós-graduação Letícia, Aline e Débora pela ajuda imprescindível com coleta de dados e análises laboratoriais. À Letícia, Aline, Jaqueline Bento, Diego, Alan e Alécia, pela amizade, carinho, paciência, conselhos e partilha de conhecimento.

A Jacqueline Jesus e os pesquisadores Dr. Bruno Alves e Dr. Fabiano Balieiro, por contribuírem, mesmo distante, com os resultados do trabalho.

Aos amigos da pós-graduação, em especial Danielly, Diego (grupo do “patinho feio”) e Clebson. À Mayra Daniela, pelo apoio e parceria em Cuiabá e durante as disciplinas da pós.

À Embrapa Agrossilvipastoril, pelo apoio técnico, estrutural e financeiro, aos técnicos de laboratório, de campo e pesquisadores que de alguma forma contribuírem para esse trabalho.

Ao Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) pela contribuição financeira do projeto.

À grandiosa Universidade Federal de Mato Grosso, ao programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais e e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 GASES DE EFEITO ESTUFA E A MUDANÇA DO CLIMA.....	3
2.2 EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA A PARTIR DE PRÁTICAS DE USO DO SOLO	5
2.2.1 Emissão de N ₂ O dos solos.....	6
2.3 USO DO NITROGÊNIO EM PLANTAÇÕES FLORESTAIS.....	7
2.3.1 Volatilização de nitrogênio aplicado no solo.....	9
2.3.2 Benefícios de plantio misto do eucalipto com leguminosas arbóreas.....	12
2.4 CICLAGEM DE NUTRIENTES EM FLORESTAS PLANTADAS. .	15
3. MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	18
3.2 PREPARO DA ÁREA	19
3.3 COLETA DE GASES DE EFEITO ESTUFA.....	21
3.3.1 Atributos do solo	26
3.3.1.1 Espaço de poros preenchidos por água.....	27
3.3.1.2 Nitrato e amônio.....	28
3.3.2 Influência no modo de aplicação do adubo para as emissão de N ₂ O.....	30
3.4 CRESCIMENTO DAS ÁRVORES.....	31
3.5 SERAPILHEIRA	32
3.5.1 Nutrientes na serapilheira	33
3.6 CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO.....	34
3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1 VARIAÇÃO TEMPORAL DOS FLUXOS DE N ₂ O DO SOLO	38
4.1.1 Efeitos da forma de aplicação de nitrogênio nos fluxos de N ₂ O do solo.....	48
4.2 CRESCIMENTO DAS ÁRVORES.....	53
4.3 ESTOQUE DE SERAPILHEIRA E CONTEÚDO DE NUTRIENTES.....	61
4.3.1 Estoque de Serapilheira.....	61
4.3.2 Conteúdo de nutrientes na matéria seca da serapilheira.....	63
4.4 CARBONO E NITROGÊNIO NO SOLO E NA SERAPILHEIRA .	72
5. CONCLUSÕES	78
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO SOLO ANTERIOR A IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO DE PLANTIOS MISTOS.....	19
TABELA 2 - DIAS DE COLETA DE GASES DE EFEITO ESTUFA E COLETAS DE SOLO.....	22

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DA EMBRAPA AGROSSILVIPASTORIL NA CIDADE DE SINOP, COM A IDENTIFICAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	18
FIGURA 2 - DISPOSIÇÃO DOS TRATAMENTOS E BLOCOS NA ÁREA EXPERIMENTAL DA EMBRAPA AGROSSILVIPASTORIL.....	20
FIGURA 3 - DADOS DE PRECIPITAÇÃO ACUMULADA E TEMPERATURA MÉDIA DO AR, NO MÊS DE IMPLANTAÇÃO ATÉ OS MESES DE AVALIAÇÃO.....	21
FIGURA 4 - DISPOSIÇÃO DOS TRATAMENTOS EM CAMPO (A); DISPOSIÇÃO DAS CÂMARAS ESTÁTICAS PARA COLETA DE GEE NOS TRATAMENTOS E+N, E, A (B); DISPOSIÇÃO DAS CÂMERAS NO TRATAMENTO 67E:33A (C) E; DISPOSIÇÃO DAS CÂMARAS NO TRATAMENTO 50E:50A (D).....	24
FIGURA 5 - MODELO DE CÂMARA ESTÁTICA COM BASE E TOPO, PARA COLETA DE GEE (A); MODELO DE COLETA DO GÁS DO INTERIOR DA CÂMARA, COM SERINGAS EQUIPADAS COM VÁLVULAS DE TRÊS VIAS (B); SERINGAS UTILIZADAS NA COLETA DO GÁS, NO TEMPO 0, 20, 40 E 60 MIN. (C); TERMOHIGROMETRO E TERMÔMETRO ESPETO, UTILIZADO PARA AFERIÇÃO DA TEMPERATURA INTERNA DA CÂMARA E DO SOLO (D); VIAL COM VÁCUO UTILIZADO PARA ARMAZENAR O GÁS COLETADO NA SERINGA (E) E; CROMATÓGRAFO GASOSO PARA ANÁLISE DA CONCENTRAÇÃO DE GASES (F).....	25
FIGURA 6 - COLETA DE SOLO INDEFORMADA. CASTELINHO, MARRETA E ANEL UTILIZADOS PARA COLETA (A); TOALETE FEITO NOS ANÉIS PARA NÃO ULTRAPASSAR O VOLUME (B); ANEL VOLUMÉTRICO DE KOPECK, DEVIDAMENTE TAMPADO PARA ENCAMINHAR AO LABORATÓRIO (C).....	27
FIGURA 7 - MÉTODO DE EXTRAÇÃO DO SOLO. AMOSTRAS EM AGITADOR HORIZONTAL (A); AMOSTRAS SENDO FILTRADAS EM FRASCOS DE PVC (B).....	28
FIGURA 8 - APLICAÇÃO DO ADUBO NITROGENADO NAS CÂMARAS DO TRATAMENTO E+N, SENDO APLICAÇÃO POR COVETA (A) E; APLICAÇÃO EM SUPERFÍCIE (B).....	30
FIGURA 9 - COLETA DE SERAPILHEIRA NO MONOCULTIVO DE A (A); NO PLANTIO MISTO 67E:33A (B) E; GABARITO APÓS COLETA DE SERAPILHEIRA (C).....	32
FIGURA 10 - PESAGEM DA SERAPILHEIRA TOTAL, COLETADA NA PARCELA (A); AMOSTRAS HOMOGENEIZADAS (B); PESAGEM DE UMA	

SUBAMOSTRA (C) E; SECAGEM DA SERAPILHEIRA EM ESTUFA (D).....33

FIGURA 11 - FLUXO DE N₂O (A); TEOR DE NITRATO (B); TEOR DE AMÔNIO (C); ESPAÇOS DE POROS PREENCHIDOS POR ÁGUA (D); PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA (E), PARA OS PERÍODOS DE SECA E CHUVA. BARRA VERTICAL INDICA O ERRO PADRÃO DA MÉDIA (N = 3).....39

FIGURA 12 - MÉDIAS DE N₂O NO PERÍODO DE SECA (A) E CHUVA (B). A LINHA TRACEJADA REPRESENTA A MÉDIA DA POPULAÇÃO GERAL. AS BARRAS COM A MESMA LETRA NÃO DIFEREM DE ACORDO COM O TESTE DE KRUSKAL WALLI (P < 0,05). AS BARRAS VERTICAIS REPRESENTAM OS INTERVALOS DE CONFIANÇA DOS DADOS (N = 3).....43

FIGURA 13 - CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS DO SOLO N-NH₄⁺ (AMÔNIO), N-NO₃⁻ (NITRATO), EPPA (ESPAÇO DE POROS PREENCHIDO POR ÁGUA); E TEMP. SOLO (TEMPERATURA DE SOLO) COM ÓXIDO NITROSO (N₂O) PARA O PERÍODO DE SECA (A) E CHUVA (B). CÍRCULOS VERMELHOS E AZUIS REPRESENTAM CORRELAÇÕES NEGATIVAS E POSITIVAS, RESPECTIVAMENTE. INTENSIDADE DA COR E TAMANHO DOS CÍRCULOS REPRESENTAM A INTENSIDADE DA CORRELAÇÃO. VALORES DENTRO DO CÍRCULO REPRESENTAM OS VALORES DA CORRELAÇÃO. BARRA DE LEGENDA INFERIOR REPRESENTA ESCALA DA CORRELAÇÃO COM INTENSIDADE DE CORES.....46

FIGURA 14 - ÓXIDO NITROSO ACUMULADOS DURANTE TODO O PERÍODO DE COLETA NA SECA (A) E NA CHUVA (B). BARRAS VERTICAIS REPRESENTAM DESVIO PADRÃO DA MÉDIA (N = 3).....47

FIGURA 15 - FLUXO DE N₂O (A); TEOR DE NITRATO (B); TEOR DE AMÔNIO (C) E; ESPAÇOS DE POROS PREENCHIDOS POR ÁGUA (D). BARRAS VERTICAIS REPRESENTAM O ERRO PADRÃO DA MÉDIA (N = 3).....49

FIGURA 16 - CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS DO SOLO N-NH₄⁺ (AMÔNIO), N-NO₃⁻ (NITRATO) E EPPA (ESPAÇO DE POROS PREENCHIDO POR ÁGUA) COM ÓXIDO NITROSO (N₂O). CÍRCULOS VERMELHOS E AZUIS REPRESENTAM CORRELAÇÕES NEGATIVAS E POSITIVAS, RESPECTIVAMENTE. INTENSIDADE DA COR E TAMANHO DOS CÍRCULOS REPRESENTAM A INTENSIDADE DA CORRELAÇÃO. VALORES DENTRO DO CÍRCULO REPRESENTAM OS VALORES DA CORRELAÇÃO. BARRA DE LEGENDA INFERIOR REPRESENTA ESCALA DA CORRELAÇÃO COM INTENSIDADE DE CORES.....50

FIGURA 17 - MÉDIAS DE N₂O NOS TRATAMENTOS (CONTROLE, APLICAÇÃO DE UREIA EM COVETA E APLICAÇÃO DE UREIA EM SUPERFÍCIE). A LINHA TRACEJADA REPRESENTA A MÉDIA DA

POPULAÇÃO GERAL. AS BARRAS COM A MESMA LETRA NÃO DIFEREM DE ACORDO COM O TESTE DE KRUSKAL ($P < 0,05$). BARRAS VERTICAIS REPRESENTAM O INTERVALOS DE CONFIANÇA DOS DADOS ($N = 3$).....51

FIGURA 18 - EMISSÕES ACUMULADAS DE ÓXIDO NITROSO DURANTE TODO O PERÍODO DE COLETA NA SECA (A) E NA CHUVA (B). BARRAS VERTICAIS REPRESENTAM DESVIO PADRÃO DA MÉDIA ($N = 3$).....52

FIGURA 19 - CRESCIMENTO EM DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO (DAP) AOS 15 MESES (A) E 26 MESES (C) E; CRESCIMENTO EM ALTURA AOS 15 MESES (B) E 26 MESES (D). OS CONTRASTES (C1 À C8) INDICADOS APRESENTAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS ($P > 0,05$). C1: E+N vs. E, C2: E+N vs. E d/pm, C3: E vs. E d/pm, C4: E67 vs. E50 d/pm, C5: A vs. A d/pm, C6: A33 vs. A50, C7: A vs. E d/ 67E:33A, C8: A vs. E d/ E50:A50. E- EUCALIPTO, N- NITROGÊNIO, A- ACÁCIA; 50, 67 E 33 SÃO A PORCENTAGEM DE EUCALIPTO E ACÁCIA DENTRO DO TRATAMENTO, pm: PLANTIO MISTO, vs.: VERSUS E d/: DENTRO DE. BARRAS VERTICAIS REPRESENTAM O ERRO PADRÃO DA MÉDIA ($N = 3$).....54

FIGURA 20 - INCREMENTO PERIÓDICO EM DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO (A) E ALTURA TOTAL DAS ÁRVORES (B) AOS 15 E 26 MESES.....56

FIGURA 21 - ÁREA BASAL PARA OS TRATAMENTOS. OS CONTRASTES (C1 À C8) INDICADOS APRESENTAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS ($P > 0,05$). C1: E+N vs. E, C2: E+N vs. E d/pm, C3: E vs. E d/pm, C4: E67 vs. E50 d/pm, C5: A vs. A d/pm, C6: A33 vs. A50, C7: A vs. E d/ 67E:33A, C8: A vs. E d/ E50:A50. E- EUCALIPTO, N- NITROGÊNIO, A- ACÁCIA; 50, 67 E 33 SÃO A PORCENTAGEM DE EUCALIPTO E ACÁCIA DENTRO DO TRATAMENTO, pm: PLANTIO MISTO, vs.: VERSUS E d/: DENTRO DE. BARRAS VERTICAIS REPRESENTAM O ERRO PADRÃO DA MÉDIA ($N = 3$).....58

FIGURA 22 - ESTOQUE DE SERAPILHEIRA EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS. LETRAS IGUAIS NAS COLUNAS NÃO DIFEREM DE ACORDO COM O TESTE DE TUKEY ($P > 0,05$) E O * INDICA DIFERENÇA SIGNIFICATIVO COM A MATA NATIVA (MN) ATRAVÉS DO TESTE T ($P > 0,05$). OS CONTRASTES (C1 À C8) INDICADOS APRESENTAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS ($P > 0,05$). C1: E+N vs. E, C2: E+N vs. E d/pm, C3: E vs. E d/pm, C4: E67 vs. E50 d/pm, C5: A vs. A d/pm, C6: A33 vs. A50, C7: A vs. E d/ 67E:33A, C8: A vs. E d/ E50:A50. E- EUCALIPTO, N- NITROGÊNIO, A- ACÁCIA; 50, 67 E 33 SÃO A PORCENTAGEM DE EUCALIPTO E ACÁCIA DENTRO DO TRATAMENTO, pm: PLANTIO MISTO, vs.: VERSUS E d/: DENTRO DE. BARRAS VERTICAIS REPRESENTAM O ERRO PADRÃO DA MÉDIA ($N = 3$).....62

FIGURA 23 - CONTEÚDO DE NITROGÊNIO (A), FÓSFORO (B), POTÁSSIO (C), CÁLCIO (D), MAGNÉSIO (E) E ENXOFRE (F) NA MATÉRIA SECA DA SERAPILHEIRA. LETRAS IGUAIS NAS COLUNAS NÃO DIFEREM DE ACORDO COM O TESTE DE TUKEY ($P > 0,05$) E O * INDICA DIFERENÇA SIGNIFICATIVO COM A MATA NATIVA (MN) ATRAVÉS DO TESTE T ($P > 0,05$). OS CONTRASTES (C1 À C8) INDICADOS APRESENTAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS ($P > 0,05$). C1: E+N vs. E, C2: E+N vs. E d/pm, C3: E vs. E d/pm, C4: E67 vs. E50 d/pm, C5: A vs. A d/pm, C6: A33 vs. A50, C7: A vs. E d/ 67E:33A, C8: A vs. E d/ E50:A50. E- EUCALIPTO, N- NITROGÊNIO, A- ACÁCIA; 50, 67 E 33 SÃO A PORCENTAGEM DE EUCALIPTO E ACÁCIA DENTRO DO TRATAMENTO, pm: PLANTIO MISTO, vs.: VERSUS E d/: DENTRO DE. BARRAS VERTICAIS REPRESENTAM O ERRO PADRÃO DA MÉDIA (N = 3).....65

FIGURA 24 - RELAÇÃO C:N DA SERAPILHEIRA. AS BARRAS COM A MESMA LETRA NÃO DIFEREM DE ACORDO COM O TESTE DE TUKEY ($P < 0,05$). BARRAS VERTICAIS REPRESENTAM O ERRO PADRÃO (N = 3).....69

FIGURA 25 - RELAÇÃO N:P DA SERAPILHEIRA. AS BARRAS COM A MESMA LETRA NÃO DIFEREM DE ACORDO COM O TESTE DE TUKEY ($P < 0,05$). BARRAS VERTICAIS REPRESENTAM ERRO PADRÃO (N = 3).....70

FIGURA 26 - TEOR DE CARBONO (A) E NITROGÊNIO (B) NO SOLO ($Mg\ ha^{-1}$) NAS DIFERENTES PROFUNDIDADES, AOS 29 MESES APÓS O PLANTIO, NOS DIFERENTES TRATAMENTOS AVALIADOS. AS CAMADAS ENTRE OS TRATAMENTOS NÃO APRESENTARAM DIFERENÇAS, DE ACORDO COM O TESTE DE TUKEY ($P > 0,05$). BARRAS VERTICAIS REPRESENTAM ERRO PADRÃO (N = 3).....73

FIGURA 27 - ESTOQUE DE CARBONO (A) E NITROGÊNIO ($Mg\ ha^{-1}$) (B) DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 0 - 50 CM E; ESTOQUE DE CARBONO (C) E NITROGÊNIO ($Mg\ ha^{-1}$) (D) NA MATÉRIA SECA DA SERAPILHEIRA. LETRAS IGUAIS NAS COLUNAS NÃO DIFEREM DE ACORDO COM O TESTE DE TUKEY ($P > 0,05$) E O * INDICA DIFERENÇA SIGNIFICATIVO COM A MATA NATIVA (MN) ATRAVÉS DO TESTE T ($P > 0,05$). OS TRATAMENTOS NÃO APRESENTARAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS COM O TEMPO ZERO ($P > 0,05$). BARRAS VERTICAIS REPRESENTAM O ERRO PADRÃO DA MÉDIA PARA OS TRATAMENTOS (N = 3), MATA NATIVA (N = 3) E TEMPO ZERO (N = 2).....76

RESUMO

SILVEIRA, Júlia Graziela da. **Emissões de gases de efeito estufa e estoque de carbono e nitrogênio em área de plantio misto de eucalipto e acácia no norte mato-grossense.** 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá – MT. Orientador: Prof. Dr. Antonio de Arruda Tsukamoto Filho.

O eucalipto é a espécie florestal mais cultivada no Brasil, tendo importância econômica e ambiental. Entretanto, para explorar o seu máximo potencial produtivo, é necessária a correta reposição de nutrientes via adubação, principalmente de nitrogênio (N), que é realizado por meio da aplicação de fertilizantes químicos, principal fonte de emissão de óxido nitroso (N_2O) para a atmosfera. A adoção de plantios mistos de eucalipto com leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio surge como uma alternativa sustentável de fornecer nitrogênio à cultura do eucalipto, sem aplicação de fertilizantes nitrogenados, para reduzir as emissões de N_2O , sem comprometer a produtividade. O objetivo do estudo foi avaliar as emissões de gases de efeito estufa, estoque de nutrientes na serapilheira e avaliar os estoques de C e N orgânicos no solo no plantio misto com eucalipto e acácia. Para isso, foi realizado estudo na área experimental da Embrapa Agrossilvipastoril, em Sinop-MT. Foram avaliados cinco tratamentos: monocultivo de eucalipto, com fertilização nitrogenada (E+N); monocultivo de eucalipto (E); monocultivo de acácia (A); plantio misto com 67% eucalipto e 33% acácia (67E:33A) e; 50% eucalipto e 50% acácia (50E:50A). O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com três repetições. As coletas de gases de efeito estufa foram realizadas em período de seca (19 meses após o plantio) e período de chuva (23 e 24 meses após plantio), através de câmaras estáticas modelo base-topo e foram analisados por cromatografo gasoso. As avaliações de altura foram realizadas com hipsômetro Vertex e o circunferência à altura do peito (CAP) foi medido com fita métrica, a 1,30 cm do solo e posteriormente transformado em diâmetro à altura do peito (DAP). Essas avaliações foram realizadas aos 15 e 26 meses após o plantio e as coletas de serapilheira, realizado com gabarito ($0,25\text{ m}^2$) e de solo, para análise de carbono e nitrogênio, foram realizadas aos 29 meses. Para o N_2O no período seco os tratamentos não apresentaram diferenças significativas na emissão de N_2O . Já no período de chuva, o tratamento E+N apresentou maiores emissões, que pode ter ocorrido pela maior disponibilidade de N no solo, aumentando as atividades de microrganismos desnitrificadores. A adubação nitrogenada não alterou o crescimento das árvores, estoque de nutrientes da serapilheira, C e N do solo. Os plantios mistos podem ser benéficos aos tratamentos a longo prazo, quando não ocorre competições entre as espécies. As emissões de GEE são menores em plantio misto. Até os 29 meses, o estoque de serapilheira, C e N do solo são iguais para todos tratamentos.

Palavras-Chave: óxido nitroso, fixadoras de nitrogênio, produtividade florestal.

ABSTRACT

SILVEIRA, Júlia Graziela da. **Greenhouse gas emissions and carbon and nitrogen stocks in mixed-species plantations of eucalyptus and acacia in northern mato-grossense.** 2018. Dissertation (Master of Forest and Environmental Sciences) - Federal University of Mato Grosso – MT. Orientador: Prof. Dr. Antonio de Arruda Tsukamoto Filho.

Eucalyptus is the most cultivated forest species in Brazil, having economic and environmental importance. However, in order to exploit its maximum productive potential, is necessary the correct replacement of nutrients through fertilization, through the application of chemical fertilizers, specially nitrogen (N), that is the main source of nitrous oxide (N₂O). The adoption of mixed eucalyptus plantations with nitrogen-fixing legumes trees appears as a sustainable alternative to supply nitrogen to eucalyptus, without the application of nitrogen fertilizers, to reduce N₂O emissions, without compromising productivity. The objectives of the study were to evaluate the greenhouse gas emissions, nutrient stock in the litter and to evaluate the organic C and N stocks in the soil in the mixed plantation with eucalyptus and acacia. For these, a study was carried out in the experimental area of Embrapa Agrossilvipastoril, in Sinop-MT. Five treatments were evaluated: eucalyptus monoculture, with nitrogen fertilization (E+N); monoculture eucalyptus (E); monoculture of acacia (A); mixed planting with 67% eucalyptus and 33% acacia (67E:33A) and; 50% eucalyptus and 50% acacia (50E:50A). The experimental design was a randomized complete block design, with three replications. GHG samplings were carried out in the dry season (19 months after planting) and rainy period (23 and 24 months after planting), using static chambers base-top model and analyzed by gas chromatography. The height evaluations were performed with Vertex hypsometer and the circumference at chest height (CBH) was measured with a tape measure, at 1.30 cm from the soil and later transformed into diameter at breast height (DBH). These evaluations were carried out at 15 and 26 months after planting, and the litter collections, with a template (0.25 m²) and soil, for carbon and nitrogen analysis, were performed at 29 months. For the N₂O in the dry period the treatments did not present significant differences in the emission of N₂O. In the rainy season, the E+N treatment presented higher emissions, which may have occurred due to the higher availability of N in the soil, increasing the activities of denitrifying microorganisms. Nitrogen fertilization did not alter tree growth, litter nutrient stock, soil C and N. Mixed plantations can be beneficial to long-term treatments when there is no competition between species. GHG emissions are lower in mixed planting. Up to 29 months, the litter stock, C and N of the soil are the same for all treatments.

Keywords: nitrous oxide, nitrogen-fixing, forest productivity

1. INTRODUÇÃO

O eucalipto é a espécie florestal mais cultivada no Brasil, tendo importante participação para suprir a crescente demanda da indústria de base florestal de celulose e papel, bem como de outros importantes seguimentos como produção de painéis, siderurgia e secagem de grãos (MOREIRA et al., 2017). Além da importância econômica, as florestas plantadas contribuem significativamente para a mitigação das emissões de gases do efeito estufa, atuando como um dreno na fixação do dióxido de carbono (CO₂) atmosférico, qual é estocado na biomassa das árvores e no solo (ABA et al., 2017). Entretanto, para explorar o máximo potencial produtivo dessa cultura e garantir altas taxas de crescimento, é necessária a correta reposição de nutrientes via adubação química ou outras fontes, especialmente o nitrogênio (N). Este nutriente muitas vezes torna-se desequilibrado no sistema devido às múltiplas rotações, sendo muito exportado na colheita da madeira, comparado as baixas doses de N que geralmente são aplicadas (LACLAU et al., 2010a; STAPE et al., 2010).

O fornecimento de N para a cultura é feito predominantemente por meio da aplicação de fertilizantes nitrogenados, sendo a ureia, o nitrato de amônio e o sulfato de amônio, os mais utilizados (CANTARELLA, 2007). A ureia apresenta maior teor de N (45%) e é prontamente absorvida pelas plantas, o que faz com que esta seja muito utilizada (CIVARDI et al., 2011). No entanto, embora importantes para o aumento da produtividade da cultura, esses fertilizantes a base de nitrogênio, são as principais fonte de emissão de óxido nitroso (N₂O) para a atmosfera (ZHANG et al., 2017).

O N₂O é o gás causador do efeito estufa com maior potencial de aquecimento da atmosfera, com uma capacidade de aquecimento 310 vezes maior em relação ao CO₂ (CARVALHO et al., 2016). Além disso, os efeitos desse gás na atmosfera são de longo prazo, uma vez que sua meia vida é em torno de 120 anos (RODRIGUES et al., 2017).

A adoção de plantios mistos de eucalipto com leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio (AFN) tem surgido como uma alternativa

sustentável de fornecer nitrogênio à cultura do eucalipto, especialmente em solos de baixa fertilidade (SANTOS et al., 2017a). Tais plantios, aumentam, a produção de biomassa das espécies em consórcio e o armazenamento de carbono (C) e N no solo (BOUILLET et al., 2013; FORRESTER et al., 2013; KOUTIKA et al. ., 2014). Bouillet et al. (2013) verificaram que a adoção de plantio misto de eucalipto com acácia é uma excelente alternativa para fornecer nitrogênio ao sistema, aumentando a produtividade em relação a monocultivos de eucalipto e contribuindo para atingir a sustentabilidade de produção por meio da redução da emissão de N₂O.

Dessa forma, o objetivo do estudo foi avaliar as emissões de gases de efeito estufa, estoque de nutrientes na serapilheira e avaliar os estoques de C e N orgânicos no solo no plantio misto de eucalipto e acácia.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 GASES DE EFEITO ESTUFA E A MUDANÇA DO CLIMA

O efeito estufa é um fenômeno natural que garante condições climáticas para permanência da vida na Terra. A energia solar de onda curta ultrapassa a atmosfera terrestre sem interagir com os gases de efeito estufa (GEE) presentes nessa camada. Quando atinge a superfície terrestre, uma parte da energia é refletida e retorna à atmosfera em um comprimento de onda longa (infravermelho) que interage parcialmente com os GEE dessa camada (CARVALHO et al., 2010). Na interação, parte da irradiação é absorvida na atmosfera, aumentando a temperatura média do ar (CARVALHO et a., 2010) e mantendo a Terra mais quente do que ela seria sem a existência desses gases (RODRIGUES et al., 2017)

O vapor de água na atmosfera terrestre em altas concentrações responde por 80% do efeito estufa natural e o restante é devido a outros gases, principalmente o dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O) e o metano (CH₄) (BRASIL, 2010).

Atividades antrópicas têm provocado uma série de alterações na paisagem terrestre e, mais recentemente, na atmosfera (RODRIGUES et al., 2017), o que vem acarretando em aumento desses gases de efeito e, conseqüentemente, um maior aquecimento global. Mesmo com o crescimento das políticas para mitigação das mudanças climáticas, as emissões antrópicas de GEE em 2010 atingiram $49 \pm 4,5$ Gt de CO₂-eq /100 anos (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC, 2014).

Esses gases são emitidos principalmente pela queima de combustíveis fósseis e pela mudança do uso da terra em países em desenvolvimento o que representa 79% do total de emissões (BRASIL, 2010). Apesar de suas pequenas concentrações, esses três gases contribuem significativamente para o efeito estufa e conseqüentemente

para mudanças no clima.

Dentre esses gases contribuintes para o efeito estufa, o CO₂ é o que tem maior contribuição, devido à grande quantidade que é emitida. Embora as quantidades de CH₄ e N₂O emitidas para atmosfera sejam bem menores, o potencial de aquecimento global (PAG) desses GEE é 21 e 310 vezes maior em relação ao CO₂ (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO - MCTI, 2014).

De acordo com o IPCC (2014) entre os principais riscos decorrentes do aumento das concentrações de gases, estão os riscos de insegurança alimentar e quebra das cadeias produtivas de alimentos ligados a mudança do clima decorrente do aquecimento, como secas, inundações e extremos de precipitação e variabilidade que causaria redução da produtividade agrícola e conseqüentemente diminuição da produção e qualidade da comida.

Práticas de mudança no uso do solo estão cada vez mais frequentes no Brasil, tornando possível o aumento ou diminuição de emissões dos GEE para a atmosfera (BARRETO, 2009). Dentre essas práticas, a agricultura e pecuária geram emissões de GEE para a atmosfera, principalmente daqueles compostos de carbono (CO₂ e CH₄) e de nitrogênio (N₂O) contribuindo para o efeito estufa e aquecimento global ao mesmo tempo em que podem sofrer essas conseqüências (MINISTERIO DA AGRICULTURA, PECUARIA E ABASTECIMENTO - MAPA, 2012). Algumas práticas que favorecem as emissões gasosas a partir dessas atividades são as emissões devido à fermentação entérica dos bovinos (produzindo metano), manejo de dejetos animais, solos agrícolas, cultivo de arroz e queima de resíduos agrícolas e aplicação de fertilizantes sintéticos com elevada emissão de óxido nitroso (MCTI, 2014).

O relatório do MCTI (2014) mostra a participação do setor agropecuário para emissões de GEE, em CO₂eq de 37% em 2012 e o setor de uso da terra e floresta, 15% no mesmo ano. No Plano ABC (2012) evidenciou-se que o setor agropecuário deve chegar em 2020 com uma emissão de 596 Tg CO₂eq e o setor de mudança do uso da terra de 516 Tg CO₂eq. Diante disso, algumas práticas agrícolas buscam sequestrar CO₂

atmosférico e armazena-lo no solo de forma sustentável. Nesse cenário, alternativas como a adoção de sistemas com componente arbóreo, incluindo a floresta plantada, integração lavoura-pecuária-floresta, sistema plantio direto, recuperação de pastagens degradadas, fixação biológica de nitrogênio e tratamento de dejetos animais são recomendadas para a mitigação da emissão dos GEE (PLANO ABC, 2012).

2.2 EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA A PARTIR DE PRÁTICAS DE USO DO SOLO

O setor agropecuário e de mudança do uso do solo, contribuem de forma significativa para as emissões de gases de efeito estufa no Brasil (BRASIL, 2009), tornando o país o quinto maior emissor de gases de efeito estufa (CARVALHO et al., 2015).

De acordo com o IPCC (2007), as conversões de ecossistemas nativos para agrossistemas, contribuem atualmente com aproximadamente 24% das emissões mundiais de CO₂, 55% das emissões de CH₄ e 85% do total das emissões de N₂O para a atmosfera. A participação do setor agropecuário para emissões de GEE, em CO₂ eq, passaram de 20% em 2005 para 37% em 2012 (MCTI, 2014). De acordo com esse relatório, algumas das atividades que favorecem as emissões gasosas a partir desses setores são o cultivo de arroz, queima de resíduos agrícolas; à aplicação de fertilizantes minerais e orgânicos, com forte emissão de óxido nitroso; o processo digestivo do gado, como a fermentação entérica, produzindo metano e; manejo de dejetos animais.

O setor de mudanças no uso da terra e floresta tem como principal causa de emissão, o desmatamento. Esse setor teve uma redução, passando de 58% para 15% de 2005 a 2012, respectivamente, principalmente pela redução dessa atividade (MCTI, 2014). Nesse relatório, é evidenciado as emissões desse setor por variações da quantidade de carbono, seja da biomassa vegetal ou do solo, considerando-se todas as transições possíveis entre diversos usos;

emissões de CO₂ por aplicação de calcário e das emissões de CH₄ e N₂O pela queima de biomassa nos solos.

De acordo com Carvalho et al. (2015), o CO₂ emitido pelos solos representa perdas de carbono da matéria orgânica e de resíduos vegetais aportados, sendo condicionados pelo clima e pelo manejo do solo e o N₂O, podem ser produzidos por microrganismos do solo, que são influenciados pelo teor de nitrogênio, manejo da matéria orgânica, umidade do solo e condições climáticas.

Para aumentar os estoques de carbono e nitrogênio no solo, conseqüentemente reduzindo da atmosfera, é necessária alta produção de biomassa e acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo. De acordo com Carvalho et al. (2015), o aumento de nitrogênio e carbono no solo estão relacionados. Sendo assim, uma importante prática de mitigação de GEE's é o plantio com leguminosas com capacidade de fixar nitrogênio do ar atmosférico, podendo promover reduções nas quantidades de fertilizantes nitrogenados aplicados.

2.2.1 Emissão de N₂O dos solos

As emissões de N₂O podem ocorrer do solo para atmosfera por processos naturais ou por fontes antrópicas, como aplicação de fertilizantes e queima de biomassa (SANFORD et al., 2012).

Outras formas de emissões desse gás são através de algumas práticas agrícolas, que podem causar alterações nas propriedades físicas e químicas do solo e assim resultar em emissões de N₂O do solo (KIM et al., 2017). A umidade e temperatura do solo, disponibilidade de C, N e oxigênio, influenciam diretamente nos processos microbianos de nitrificação e desnitrificação (GROENIGEN et al., 2015).

Sob condições secas e conseqüentemente aeróbicas, a nitrificação é o processo de consumo de N dominante, enquanto a desnitrificação torna-se dominante em condições de solos úmidos, em anaerobiose (LOICK et al., 2017). De acordo com o mesmo autor, a

nitrificação e a desnitrificação podem ocorrer simultaneamente em diferentes micro-sítios do mesmo solo, mas geralmente há incerteza associada ao processo que domina em um solo particular em condições específicas.

Em áreas de floresta plantadas e nativas, o processo de nitrificação e desnitrificação pode ocorrer naturalmente, com consequência nas emissões de N₂O (RODRIGUES et al., 2017). De acordo com esses mesmos autores, alguns estudos mostram que a matéria orgânica do solo da mata apresenta baixa relação C:N, estimulando o processo de mineralização e liberando mais nitrato, entrando na via de formação do N₂O no solo.

2.3 USO DO NITROGÊNIO EM PLANTAÇÕES FLORESTAIS

O estabelecimento de uma plantação florestal utilizando o gênero *Eucalyptus* para produção de papel e celulose e outros produtos justifica-se pela alta produtividade em diferentes solos e climas (PULITO et al., 2015). Nas últimas décadas, os plantios de eucalipto no Brasil apresentaram avanços nas práticas silviculturais (GONÇALVES et al., 2013), proporcionando aumento no rendimento médio de plantações de eucalipto de 25 para 39 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ entre 1990 e 2015 (INDUSTRIA BRASILEIRA DE ARVORE - IBA, 2015). NO ENTANTO, A produção sustentável de madeira pode ser comprometida a curto ou a longo prazo quando as plantações são estabelecidas em solos de baixa fertilidade (GONÇALVES et al., 2013).

Os solos destinados para os plantios florestais geralmente têm baixa fertilidade, requerendo aplicações de fertilizantes para taxas e períodos adequados para manter altos rendimentos (MELO, 2016). Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) são alguns dos principais nutrientes aplicados às plantações de eucalipto (SMETHURST et al., 2004).

Para o bom desempenho produtivo das plantações, é necessário o nível adequado desses fertilizantes, bem como disponibilidade de água no solo e condições climáticas favoráveis (CHRISTINA et al., 2015). Os ganhos em produção de madeira podem variar de 5% a 90%, quando ocorre aplicação correta dos fertilizantes, na idade que a planta requer e condições edafoclimáticas favoráveis (ALMEIDA et al., 2010; PULITO et al., 2015).

Porém, para o crescimento das árvores e garantir a qualidade do solo em rotações sucessivas, são necessárias práticas e gestão adequadas, incluindo aplicação correta de fertilizantes (GONÇALVES et al., 2008). Segundo Gazola (2014), levando em consideração que boa parte do plantio de eucalipto é realizado em solos de baixo teor de nutrientes e matéria orgânica, a adubação no início do ciclo da cultura é muito importante, em especial do N.

A prática da adubação nitrogenada é realizada normalmente no período entre o plantio até o fechamento da copa, posto que a alta demanda por nutrientes, principalmente pelo N, é requerida até à formação da copa (ciclo geoquímico) (GAZOLA, 2014). Neste período, a planta necessita de mais nutrientes para seu desenvolvimento e após a ciclagem de nutrientes pela deposição de serapilheira, assume papel importante no fornecimento de nutrientes para as plantas por meio da sua decomposição (BENATTI 2013). A decomposição da serapilheira faz parte da etapa do ciclo biogeoquímico (interação do ciclo geoquímico com o bioquímico), na qual, em virtude da otimização desse ciclo, a demanda e resposta da planta por fertilização mineral se torna cada vez menor (GONÇALVES et al., 2000).

Porém, o que ocorre em plantações de monocultivo de *Eucalyptus* spp. são os ciclos de curta rotação (6-8 anos) (GONÇALVES et al., 2013), o que pode resultar em mudanças significativas na qualidade do solo e no ciclo biogeoquímico de nutrientes (STAPE et al., 2010), como no balanço de nitrogênio do solo, que geralmente se torna negativo com rotações sucessivas, devido à alta exportação de N na madeira colhida e baixa reposição via aplicação de fertilizantes nitrogenados (LACLAU et al., 2010a).

A influência da adubação nitrogenada tem sido contraditória em plantios de eucalipto. Os ganhos de produtividade desses plantios em resposta à sua fertilização têm sido relativamente baixos ou ausentes, o que indica que alguns solos podem ser capazes de suprir boa parte da demanda deste nutriente para as plantas, podendo ser atribuído à maior quantidade de N mineralizado da matéria orgânica do solo (GAMA-RODRIGUES, 1997; GAMA-RODRIGUES et al., 2005). Jesus et al. (2012), em busca de respostas dessa adubação ao crescimento do eucalipto, observou a inconsistência das respostas e dados contrastantes com relação à taxa de recuperação do N do fertilizante.

Gazola (2014) encontrou em sua pesquisa com eucalipto em diferentes idades, que os plantios de 18, 21 e 24 meses de idade responderam melhor a doses estimadas de 63, 67 e 84 kg ha⁻¹ de N respectivamente, proporcionando o máximo diâmetro com relação a testemunha (sem adubação). No entanto, quando relaciona com o crescimento em altura, essa adubação não se mostrou influente. De acordo com o autor, mesmo apresentando maiores incrementos em DAP a partir de doses de adubação nitrogenada, os ganhos foram de baixa magnitude. De acordo com Barreto et al. (2011), em áreas recém-reflorestadas com eucalipto, a mineralização das reservas orgânicas de N pode suprir a demanda das árvores ao longo do ciclo da cultura, justificando a baixa resposta a adição de N.

2.3.1 Volatilização de nitrogênio aplicado no solo

O nitrogênio pode ser absorvido pelas plantas nas formas nítrica (NO₃⁻), amoniacal (NH₄⁺), amídica [CO(NH₂)₂] e gasosa (N₂), sendo absorvido pelas plantas predominantemente as duas primeiras formas, e a última principalmente de leguminosas por meio do processo de fixação biológica do nitrogênio realizado por bactérias de vida livre no solo que vivem em simbiose com essas leguminosas (BAZANI et al., 2014).

A principal fonte de nitrogênio utilizada no Brasil é a ureia, que apresenta como vantagens a alta concentração de N (cerca de 45% de N) e o menor preço de N por unidade de produto. Possui, ainda, alta solubilidade, menor corrosividade e compatibilidade com muitos fertilizantes (CIVARDI et al., 2011).

Parte do N proveniente dos fertilizantes pode não ser absorvida pela planta e perdido por processos de lixiviação, volatilização de NH_3 e erosão (GALLOWAY et al., 2008; CANTARELLA, 2007), podendo causar problemas ambientais como as emissões de óxido nitroso e contaminação de mananciais e lençol freático. O uso inadequado de fertilizantes pode aumentar as perdas de N no ambiente, nas formas de amônia (NH_3), amônio (NH_4^+), óxidos de nitrogênio (NO_x), óxido nitroso (N_2O) e nitrato (NO_3^-) (GALLOWAY et al., 2003) em processos como nitrificação, desnitrificação e volatilização de NH_3 do solo (VILLALBA et al., 2014).

O N é um elemento bastante dinâmico e instável no solo, que pode ter sua forma e disponibilidade alteradas por processos microbiológicos (nitrificação, desnitrificação, imobilização), químicos (trocas, fixação, precipitação, hidrólise) e físicos (lixiviação, volatilização), que quando aplicado em altas doses no solo, pode resultar em alto potencial de perdas de N na forma de NO_3^- , perdas de N_2O por nitrificação e/ou desnitrificação, volatilização de NH_3 do solo, perdas gasosas de N do tecido das plantas (VILLALBA et al., 2014). De acordo com Oliveira e Balbino (1995) a perda do nitrogênio pode ocorrer quando o solo apresenta pH alcalino, baixa capacidade de troca de cátions, baixa capacidade tampão do hidrogênio, alta temperatura, baixa umidade e altas doses de nitrogênio, ou pela ação conjunta de dois ou mais destes fatores.

A lixiviação de NO_3^- é considerada a principal perda do N disponível às plantas (ERREBHI et al., 1998), influenciada pela intensidade de chuva, que poderá resultar em perdas de N por lixiviação de N-NO_3^- e desnitrificação, uma vez que, em condições anaeróbias, o N-NO_3^- atua comoceptor de elétrons da cadeia respiratória de algumas bactérias, sendo reduzido à forma gasosa de N_2 (DENDOOVEN et al., 1998). Além disso, a forma de aplicação do adubo nitrogenado também influencia na perda de

N, ocorrendo maiores perdas por lixiviação quando incorporado no solo e maior as perdas por volatilização quando a adubação ocorre em superfície (SANGOI et al., 2003).

Outro fator determinante nas perdas de nitrogênio é a fonte de fertilizante utilizada, as perdas por volatilização da NH_3 são muito maiores na ureia do que no nitrato de amônio por exemplo (CANTARELLA, 2007). O manejo da adubação, como época, horário e forma de aplicação do fertilizante também poder contribuir para aumentar essas perdas. De acordo com Lara-Cabezas et al. (2000), a aplicação de ureia em cobertura, sem a incorporação ao solo, pode proporcionar perdas de 31% a 78% do total de N aplicado. Entretanto quando esse fertilizante é incorporado no solo, as perdas por volatilização de amônia (NH_3) reduzem (TRIVELIN et al., 2002). Ernani et al. (2002) explica que, essa amônia, ao se difundir no interior do solo em direção à atmosfera, encontra regiões com valores de pH mais baixo em relação aos valores próximos aos grânulos de ureia, sendo novamente convertida em NH_4^+ . De acordo com Rosa et al. (2005), a diminuição do potencial de perda do nitrogênio também ocorre quando a amônia passa para o íon amônio (NH_4^+), porém, para que isso ocorra alguns fatores são importantes como controle do pH e umidade do solo.

Quando aplicado em superfície, o processo de volatilização, com perdas de N na forma de compostos gasosos, pode levar a baixa eficiência dos fertilizantes nitrogenados (SOUSA e LOBATO, 2004) e maior contribuição para o óxido nitroso na atmosfera.

Civardi et al. (2011) comenta que para reduzir as perdas de nitrogênio por volatilização, a incorporação dos fertilizantes nitrogenados ao solo, como utilizado em covetas na adubação de plantio do eucalipto, é o mais recomendado. Segundo esses autores, a incorporação desse fertilizante entre 5 e 7 cm de profundidade no solo é suficiente para reduzir as perdas por volatilização.

Outra situação de perdas de nitrogênio gasoso por desnitrificação, que ocorre em grande intensidade, é sob condições de falta de oxigênio no solo onde o nitrato (NO_3^-) é reduzido a N_2O ou N_2 gasosos (RESENDE et al., 1988). Isso é muito observado em áreas sujeitas a

inundação temporária por dificuldade de drenagem do solo ou onde são aplicadas altas lâminas de água como no caso irrigação por inundação, bastante utilizada na cultura do arroz.

Para reduzir as perdas com as adubações nitrogenadas é preciso estudar a disponibilidade do nutriente já existente no local; doses a serem aplicadas; forma de aplicação; condições do solo (umidade, textura, tipo de argila, pH, etc.); condições de clima (índice pluviométrico e temperatura); condições da cultura (ciclo, variedade, capacidade de proliferação de raízes, eficiência metabólica, etc.); entre outros (CARVALHO e ZABOT, 2012). E para se ter uma maior eficiência é preciso fazer uma incorporação adequada de acordo com o tipo de solo, cultura e fonte de N a ser aplicada; usar o parcelamento da adubação; usar os fertilizantes de forma racional e equilibrada, e não cometer excessos (LOPES e GUILHERME, 2000).

2.3.2 Benefícios de plantio misto do eucalipto com leguminosas arbóreas

A fertilização com nitrogênio é necessária para aumentar a produtividade das plantações (YU et al., 2000), mas o uso inadequado pode aumentar o risco de emissões de gases de efeito estufa (HALL e MATSON 1999). O nitrogênio é o nutriente que mais interfere no desenvolvimento e produtividade das plantas, pois é componente de proteínas, aminoácidos, enzimas e da molécula de clorofila, logo, está diretamente ligado aos processos vitais da planta (TAIZ e ZIEGER, 2009).

A adição de N pode aumentar o conteúdo de N mineral no solo, favorecendo a emissão de óxido nitroso (N_2O), que conseqüentemente afeta o aquecimento global (COSTA et al., 2009). Do ponto de vista do gás de efeito estufa, os fertilizantes com os maiores efeitos são as formas à base de N que produzem N_2O , incluindo nitrato de amônio, sulfato de amônio e ureia (SAKATA et al., 2015).

Os fluxos de gases de efeito estufa nas plantações de eucalipto e suas respostas à fertilização nitrogenada foram pouco estudadas. Isso

limita a compreensão dos efeitos do plantio de eucalipto sobre as emissões de gases de efeito estufa nesta área (ZHANG et al., 2017), no entanto, aumenta as oportunidades de estudo nesse contexto.

ZHANG et al. (2017) em um estudo na China, com diferentes níveis de adubação nitrogenada em plantio de eucalipto (*Eucalyptus urophylla* × *grandis*), concluiu que adubação nitrogenada aumentou significativamente as emissões de CO₂ e N₂O do solo.

Sob este cenário de aumento de óxido nitroso a partir de adubações nitrogenadas, os sucessivos ciclos de corte do eucalipto, com interferências no ciclo biogeoquímico, as AFN, como *Acacia mangium*, demonstraram melhorar a disponibilidade de N do solo, melhorar o ciclo de nutrientes (BALIEIRO et al., 2004) e aumentar a produção de biomassa e fixação de C e N no solo em plantios mistos com *Eucalyptus* (FORRESTER et al., 2013; KOUTIKA et al., 2014; SANTOS et al., 2017a).

A utilização de leguminosas é uma das estratégias para redução das emissões de GEE, principalmente o N₂O. Com a utilização de leguminosas, reduz-se aplicação de fertilizantes nitrogenados, liberando maiores teores de N mineral no solo, originados dos resíduos da cultura e, ainda contribui com um aumento no estoque de carbono no solo (TRIBOUILLOIS et al., 2015; POEPLAU e DON, 2015).

A acácia é uma espécie que possui alta capacidade de adaptação, rápido crescimento, baixo requerimento nutricional, tolerância a acidez do solo e compactação (FARIA et al., 1996). Segundo Schumacher et al. (2003), a acácia possui um grande potencial para a melhoria da qualidade do solo, contribuindo para a formação da cobertura verde, a manutenção da capacidade de produção, fornecimento de nitrogênio e o aumento das reservas de matéria orgânica no solo.

Dessa forma, essa espécie tem grande potencial para ser utilizada com propósito de fornecer N ao sistema, o que pode substituir a entrada de nitrogênio via fertilizantes químicos, podendo ainda contribuir para redução da emissão de óxido nitroso na atmosfera, pois, segundo Auer e Silva (1992), a espécie fixa aproximadamente 200 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N atmosférico.

A capacidade de leguminosas como a acácia de fornecer nitrogênio ao sistema, é graças a associação simbiótica com bactérias de vida livre no solo como dos gêneros *Frankia* e *Rhizobium*, que são fixadoras de N₂ atmosférico. Isto é possível, uma vez que eles possuem a nitrogenase, um complexo enzimático que promove a catálise (quebra da tripla ligação entre os átomos de N) e redução da molécula do N₂ atmosférico a NH₃ (ou NH₄⁺) (RODRIGUES et al., 2017).

Além do benefício ambiental, auxiliando na redução de alguns gases causadores do efeito estufa, os plantios mistos de eucalipto e leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio atmosférico resultam em aumento na produtividade das espécies envolvidas (VIERA et al., 2013), como foi registrado no estudo Laclau et al. (2008) em plantio de *Eucalyptus grandis* com *Acacia mangium*. Essa interação positiva (facilitação) entre os indivíduos ocorre quando uma espécie interage com a outra provocando efeito positivo na produtividade, por exemplo, quando uma espécie que fixa nitrogênio contribui para o aumento do crescimento da outra espécie que não é fixadora de nitrogênio, em virtude da maior disponibilidade do nutriente no sistema (FORRESTER et al., 2005). Quando isso ocorre, plantios mistos serão mais produtivos do que monoculturas (FORRESTER et al., 2004). Essa interação positiva foi observada no estudo de Forrester et al. (2005) em plantio misto de *Eucalyptus globulus* e *Acacia mearnsii* na Austrália, onde verificou maior crescimento em altura e diâmetro, incremento em biomassa acima do solo e volume de madeira nos tratamentos com as espécies consorciadas na mesma área.

Nas regiões tropicais, como grande parte do Brasil, observaram-se respostas positivas de plantios mistos de espécies de *Eucalyptus* spp. e *A. Mangium*, bem como com outras espécies leguminosas, em locais com baixa fertilidade do solo, em particular o aumento do rendimento da madeira devido à maior disponibilidade de N no sistema, promovido pela fixação biológica de N₂ (BALIEIRO et al., 2008; BOUILLET et al., 2013; SANTOS et al., 2016).

Solos com menor fertilidade podem ser mais responsivos a adubação nitrogenada. Nos trabalhos de Laclau et al. (2008) e Bouillet et

al. (2013) os eucaliptos não tiveram resposta à adubação. Quando se coloca a leguminosa consorciada, como em uma área no Congo, com menor fertilidade do solo, aumentou a produção de madeira nos plantios mistos de 50E:50A (50% eucalipto e 50% acácia) em relação aos monocultivos de eucalipto. Isso porque, segundo os autores, a acácia proporcionou ao sistema melhor absorção de água e facilitação do nitrogênio, para a espécie de eucalipto (BOUILLET et al., 2013).

Sendo assim, o uso de leguminosas em áreas de plantios com espécies não leguminosas são utilizados para promover o sinergismo das espécies e melhorar a produção individual das culturas (HWANG et al., 2015), podendo ter melhorias ao ambiente, quando auxiliam na redução dos GEE.

Alguns trabalhos mostram que as plantações de *A. mangium* podem ser uma fonte importante de N_2O , pois as leguminosas produzem serapilheira rica em N resultantes da fixação simbiótica de N, levando a alta disponibilidade desse N e ciclo rápido de N do solo (ERICKSON et al., 2001; DICK et al., 2006; ARAI et al., 2008; KONDA et al., 2010; MORI et al., 2013).

Com vista nesses trabalhos, é preciso aprofundar os assuntos referente aos benefícios que plantios mistos podem proporcionar ao sistema, tanto em ganho de biomassa para cultura, como em benefícios ao solo e ao meio ambiente.

2.4 CICLAGEM DE NUTRIENTES EM FLORESTAS PLANTADAS

Em cultivos florestais há uma grande dinâmica de extração e deposição de nutrientes, proporcionando uma constante ciclagem de nutrientes e aumento dos teores de matéria orgânica do solo. Isso ocorre devido à grande deposição de serapilheira no solo e renovação do sistema radicular. Essa intensa dinâmica de extração de nutrientes, deposição e decomposição de material orgânico exercem grande influência nos atributos físicos do solo (densidade, porosidade, aeração) que determinam

a capacidade de infiltração e retenção de água, e interferem na formação e estabilidade dos agregados, bem como na composição química do solo, disponibilidade de nutrientes e microclima favorável ao desenvolvimento de alguns microrganismos (CUNHA NETO et al., 2013).

Em sistemas de plantios mistos, podem ocorrer interações sinérgicas entre as espécies cultivadas, capazes de proporcionar maior produtividade ao sistema. Nessas condições as diferenças observadas entre as árvores de cada espécie, como no crescimento fenológico, na conformação da copa, no sistema radicular e nas exigências nutricionais, podem criar uma situação de compatibilidade favorável à captação de energia solar, água e nutrientes, resultando em uma dinâmica de nutrientes no solo diferente da comumente observada em plantios simples (VEZZANI et al., 2001).

A ciclagem de nutrientes é diretamente afetada por fatores ambientais como precipitação, radiação solar, umidade relativa do ar, temperatura, velocidade do vento e evapotranspiração que interferem diretamente na quantidade e composição da serapilheira depositada (folhas, galhos grossos, galhos finos, miscelânea) bem como na velocidade de decomposição desse material pelos microrganismos do solo (VIERA et al., 2014). De acordo com os autores, a variação nesses fatores promove alterações nos padrões de ciclagem dos nutrientes, por isso, em plantios de mesmas espécies pode haver grande variação ao longo do ano e entre locais na deposição e decomposição da serapilheira.

Em florestas de eucalipto o nitrogênio e o cálcio são os nutrientes com maior participação na serapilheira, podendo corresponder a mais de 82% do teor de macronutrientes presentes na serapilheira depositada no solo (VIERA et al., 2013). Esses autores encontraram um coeficiente de decomposição de serapilheira de 0,54 e observaram que o potássio foi o nutriente que apresentou maior coeficiente de devolução ao solo (0,52). Nesse estudo a quantidade média de nutrientes disponibilizados via decomposição da serapilheira foi 58,9, 48,3, 19,1, 10,6, 4,4 e 2,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Ca, N, K, Mg, S e P respectivamente.

Contudo, acredita-se que o eucalipto possa ser favorecido

quando cultivado em consórcio com leguminosas arbóreas, fixadoras de N. Até a formação da copa do eucalipto o principal benefício do consórcio seria o fornecimento de nitrogênio, proveniente da decomposição da serapilheira, exsudação de substâncias orgânicas e decomposição de raízes (VEZZANI et al., 2001). Além disso, a leguminosa pode acelerar a ciclagem de nutrientes da serapilheira, pela redução da relação C:N estimulando a atividade dos microrganismos decompositores e por consequência a liberação de nutrientes.

Cunha Neto et al. (2013) verificaram que o estoque de serapilheira em floresta de eucalipto com 4,5 anos de implantação é quase o dobro do valor observado para acácia com a mesma idade. Contudo, essa diferença é atribuída a maior quantidade de galhos na serapilheira do eucalipto em comparação à de acácia, uma vez que a quantidade de folhas depositada foi semelhante entre os plantios. Os autores observaram ainda que os estoques de N, K e Mg na serapilheira foram semelhantes entre eucalipto e acácia e que os estoques de Ca e P foram maiores no eucalipto. Além disso, na acácia foram verificados menor constata de decomposição e maior tempo de meia-vida da serapilheira em relação ao eucalipto.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi desenvolvido na área experimental da Embrapa Agrossilvipastoril, no Município de Sinop (11°51'S, 55°35'W), MT, na região de transição entre Cerrado e Floresta Amazônica (ARAUJO et al., 2009) (Figura 1).

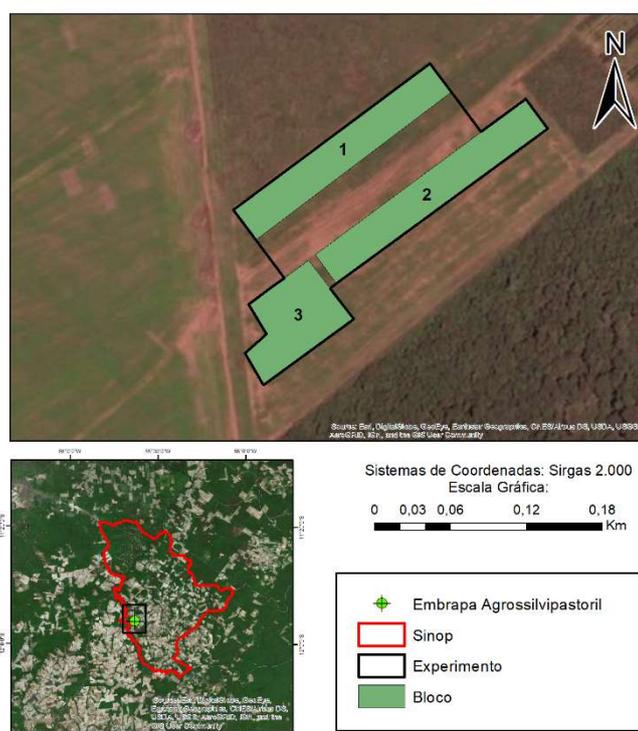


FIGURA 1- LOCALIZAÇÃO DA EMBRAPA AGROSSILVIPASTORIL NA CIDADE DE SINOP, COM A IDENTIFICAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

A altitude média é de 384 m (DIEL et al., 2014). Na área experimental predomina o Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em relevo plano (OLIVEIRA et al., 1982). De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é Am (clima de monção) (ALVARES et al., 2014), a temperatura do ar média anual é de 25,8°C e a precipitação acumulada de 2.250 mm (EMBRAPA, 2017). A umidade relativa do ar média anual é de 82,5% (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2016).

A área experimental foi desmatada em 2003 e inicialmente foi cultivada com arroz (*Oryza sativa*) para sistematização da área para agricultura e, posteriormente, passou a ser cultivada com soja (*Glycine max* L). Entre 2005 e 2007 foi cultivada com soja e milho safrinha (*Zea mays*), no sistema convencional. Nas safras de 2007/08 e 2008/09, foram realizadas sucessões de soja e algodão (*Gossypium hirsutum* L.). No período de 2010 até dezembro de 2014, a área permaneceu em pousio.

A caracterização do solo anterior ao plantio, é apresentada na Tabela 1.

TABELA 1- CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO SOLO ANTERIOR A IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO DE PLANTIOS MISTOS.

Prof.	pH	P	K	Ca	Mg	H	Al	H+Al	SB	CTC (t)	CTC (T)	V	MO	Areia	Silte	Argila
cm	H ₂ O	mg dm ⁻¹								molc dm ⁻¹		%	g dm ⁻³	g Kg ⁻¹		
00-20	5,9	5,8	42	2,5	0,8	3,3	0	3,3	3,4	3,4	6,7	50,7	26,8	570,5	83,5	346
20-40	5,6	1,9	30,5	1,2	0,4	2,4	0,1	2,5	1,7	1,7	4,1	40,2	13,5	554	83,5	362,5
40-60	5,6	1,2	18,5	1,1	0,4	2,2	0,1	2,3	1,5	1,6	3,8	39,3	10,2	495,5	83,5	421

3.2 PREPARO DA ÁREA

Em outubro de 2014, no preparo da área para implantação do experimento, foi realizada a subsolagem e gradagem. No início de janeiro de 2015, foi realizado aplicação de herbicida e inseticida pré-plantio, com glifosato (4 L ha⁻¹ ou 1920 g ha⁻¹ do e. a. de glifosato), boral 500 SC (0,7 kg i.a ha⁻¹ ou 1,4 L p.c. ha⁻¹) e regent 800 WG (200 g i.a ha⁻¹ ou 250 g p.c. ha⁻¹).

Os cinco tratamentos implantados foram constituídos de monocultivos e plantios mistos de *Acacia mangium* (A), com sementes de procedência do Vietnã e Eucalipto (E), clone I144 (*E. urophylla* x *E. grandis*). São eles: monocultivo de eucalipto, sendo considerado o tratamento controle, que recebeu fertilização nitrogenada (E+N); monocultivo de eucalipto sem fertilização nitrogenada (E); monocultivo de acácia (A); plantio misto na proporção de 67% eucalipto e 33% acácia

(67E:33A) e; plantio misto na proporção de 50% eucalipto e 50% acácia (50E:50A), (Figura 4-A).

O delineamento experimental foi de blocos completos casualizados, com três repetições (Figura 2). Cada parcela é composta de uma área total de 1296 m² em espaçamento de 3 x 3 m (12 x 12 árvores), com parcela útil de 576 m² (8 x 8 árvores), sendo considerado bordadura dupla. O plantio das mudas foi realizado de 27 a 30 de janeiro de 2015. Na adubação de base todos os tratamentos receberam 125 kg ha⁻¹ superfosfato triplo - 45% P (50 kg ha⁻¹ P₂O₅), 100 kg ha⁻¹ oligo-elementos FTE BR08 e 25 kg ha⁻¹ KCl com 60% de K₂O (15 kg ha⁻¹ de K₂O) e o tratamento E+N recebeu 34 kg ha⁻¹ de uréia (15 kg ha⁻¹ de N).



FIGURA 2- DISPOSIÇÃO DOS TRATAMENTOS E BLOCOS NA ÁREA EXPERIMENTAL DA EMBRAPA AGROSSILVIPASTORIL

Três dias após o plantio foi realizada a aplicação de inseticidas (Regent 800 WG 250 g p.c. ha⁻¹, Korplan 1 L p.c. ha⁻¹ e Platinum 200 ml p.c. ha⁻¹). O replantio de mudas mortas foi realizado 10 dias após o plantio. No entanto, em fevereiro de 2015, teve ocorrência de verânico no local, ocasionando elevada mortalidade dos eucaliptos, sendo necessário a realização de um segundo replantio no início das chuvas, em outubro e novembro de 2015.

A adubação de cobertura foi realizada 45 dias após o plantio e foram aplicados 125 kg ha⁻¹ superfosfato triplo - 45% P (50 kg ha⁻¹ P₂O₅), 25 kg ha⁻¹ KCl com 60% de K₂O (15 kg ha⁻¹ de K₂O), 54 kg ha⁻¹ de FTE BR08.

Os dados meteorológicos de precipitação acumulada e temperatura média do ar, foram obtidos na estação meteorológica da Embrapa Agrossilvipastoril (Figura 3). Os dados de janeiro de 2015 iniciam-se a partir do dia 08, devido à problemas de coleta na estação nos dias anteriores.

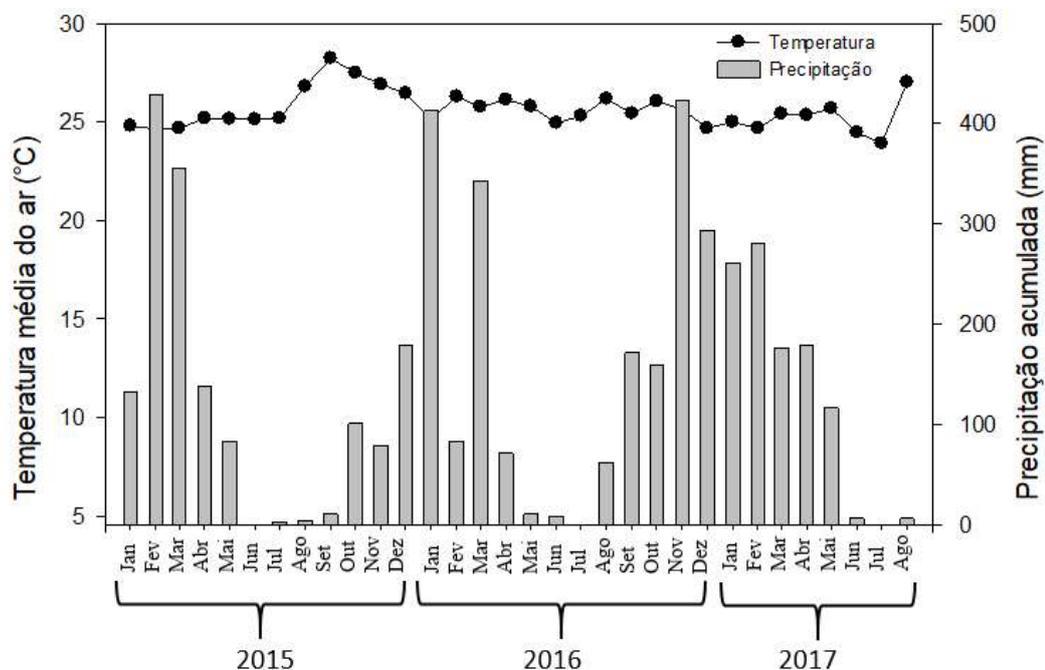


FIGURA 3- DADOS DE PRECIPITAÇÃO ACUMULADA E TEMPERATURA MÉDIA DO AR, NO MÊS DE IMPLANTAÇÃO ATÉ OS MESES DE AVALIAÇÃO.

3.3 COLETA DE GASES DE EFEITO ESTUFA

A coleta de gases foi realizada aos 19, 23 e 24 meses após o plantio, sendo dividido em dois períodos de coleta, de acordo com a distribuição da precipitação local. O intervalo de coletas compreendido entre 01 agosto 2016 a 12 agosto 2016 foi considerado período seco, pois nesse intervalo não ocorreram precipitações. O intervalo compreendido entre 06 dezembro 2016 e 12 janeiro 2017, foi considerado período de chuva.

No dia 09 dezembro 2016 (679 dias após o plantio), com as árvores com 23 meses de idade, foi realizada a adubação nitrogenada no

tratamento de monocultivo de eucalipto com fertilização nitrogenada (E+N). Foram aplicados 190 kg ha⁻¹ de ureia (85 kg ha⁻¹ de N), em forma de coveta.

As datas e identificações, correspondentes aos dias de coleta, estão apresentados na Tabela 2. Os dias de coletas foram contabilizados a partir do dia da adubação no tratamento controle (E+N), sendo os valores negativos os dias anteriores a adubação, zero o dia da adubação e valores positivos, dias após adubação.

TABELA 2 - DIAS DE COLETA DE GASES DE EFEITO ESTUFA E COLETAS DE SOLO

Período	Nº de dias em relação a data de adubação	Data de coleta	Coleta de Gases de efeito estufa	Coleta de Solo
Seca	-130	01 ago. 2016	x	
Seca	-129	02 ago. 2016	x	x
Seca	-128	03 ago. 2016	x	
Seca	-127	04 ago. 2016	x	
Seca	-126	05 ago. 2016	x	
Seca	-123	08 ago. 2016	x	
Seca	-122	09 ago. 2016	x	
Seca	-120	11 ago. 2016	x	x
Seca	-119	12 ago. 2016	x	
Chuva	-3	06 dez. 2016	x	
Chuva	-2	07 dez. 2016	x	
Chuva	-1	08 dez. 2016	x	x
Chuva	0	09 dez. 2016	x	
Chuva	1	10 dez. 2016	x	
Chuva	2	11 dez. 2016	x	x
Chuva	3	12 dez. 2016	x	
Chuva	4	13 dez. 2016	x	
Chuva	5	14 dez. 2016	x	
Chuva	6	15 dez. 2016	x	x
Chuva	8	17 dez. 2016	x	
Chuva	9	18 dez. 2016	x	
Chuva	11	20 dez. 2016	x	
Chuva	12	21 dez. 2016	x	x
Chuva	18	27 dez. 2016	x	
Chuva	19	28 dez. 2016		x
Chuva	20	29 dez. 2016	x	
Chuva	25	03 jan. 2017	x	
Chuva	26	04 jan. 2017		x
Chuva	27	05 jan. 2017	x	
Chuva	32	10 jan. 2017	x	
Chuva	33	11 jan. 2017		x
Chuva	34	12 jan. 2017	x	

Para coleta do gás, foi utilizado o método de câmara estática manual, modelo base-topo, conforme utilizado por Nogueira et al. (2015). As bases das câmaras com dimensões de 40 cm x 60 cm com 11 cm de altura, feitas de metal, foram instaladas no campo três dias antes do início da primeira coleta, a fim de evitar perturbações no solo e influenciar nas emissões. As mesmas foram fixadas no solo a uma profundidade de 5 cm, permanecendo assim durante todo período de estudo. Os topos foram confeccionados com bandejas de cloreto de polivinil (PVC) de dimensões 9,2 x 40,0 x 60,5 cm, as quais foram revestidas com manta térmica de dupla face para diminuir a absorção de luz solar (PARKIN e VENTEREA, 2010) e com um orifício na lateral, que permitia a circulação de ar.

As câmaras dispostas nos tratamentos foram distribuídas de forma a representar todas as interações do sistema. Para os tratamentos E+N, E e A, foram instaladas duas câmaras, uma entre linhas e uma entre árvores (Figura 4-B). No tratamento 67E:33A, foram instaladas quatro câmaras, sendo uma entre linhas de eucalipto, uma entre árvores de eucalipto, uma entre linhas de transição entre eucalipto e acácia e uma entre árvore de acácia (Figura 4-C). No tratamento 50E:50A foram instaladas oito câmaras, sendo duas entre linhas de acácia, uma entre árvores de acácia, duas entre linha de transição entre eucalipto e acácia, uma entre árvores de eucalipto e duas entre linhas de eucalipto (Figura 4-D).

Em cada câmara (Figura 5-A), uma seringa de insulina (1 ml) estava acoplada a uma válvula de três vias na área central do topo, que era utilizada para a coleta do ar do interior da câmara. Para retirar as amostras de gases do interior da câmara foram utilizadas seringas de polipropileno de 20 cm³ conectadas a válvulas de três vias para sua vedação (RODRIGUES e MELO, 2012) (Figura 5-B).

As coletas foram realizadas no período da manhã, entre 8h e 12h, e os tempos de coleta foram de 0, 20, 40 e 60 minutos, após o fechamento das câmaras. Utilizou-se uma seringa por tempo de coleta, com suas devidas identificações (Figura 5-C). Simultaneamente as coletas, foram aferidas as temperaturas internas das câmaras com

termohigrômetro, para utilização nos cálculos de fluxo de gases, e a temperatura do solo foi avaliada por um termômetro espeto, modelo TP101 (Figura 5-D). Devido o atraso na entrega dos termômetros, a temperatura do solo só foi aferida no período de chuva.

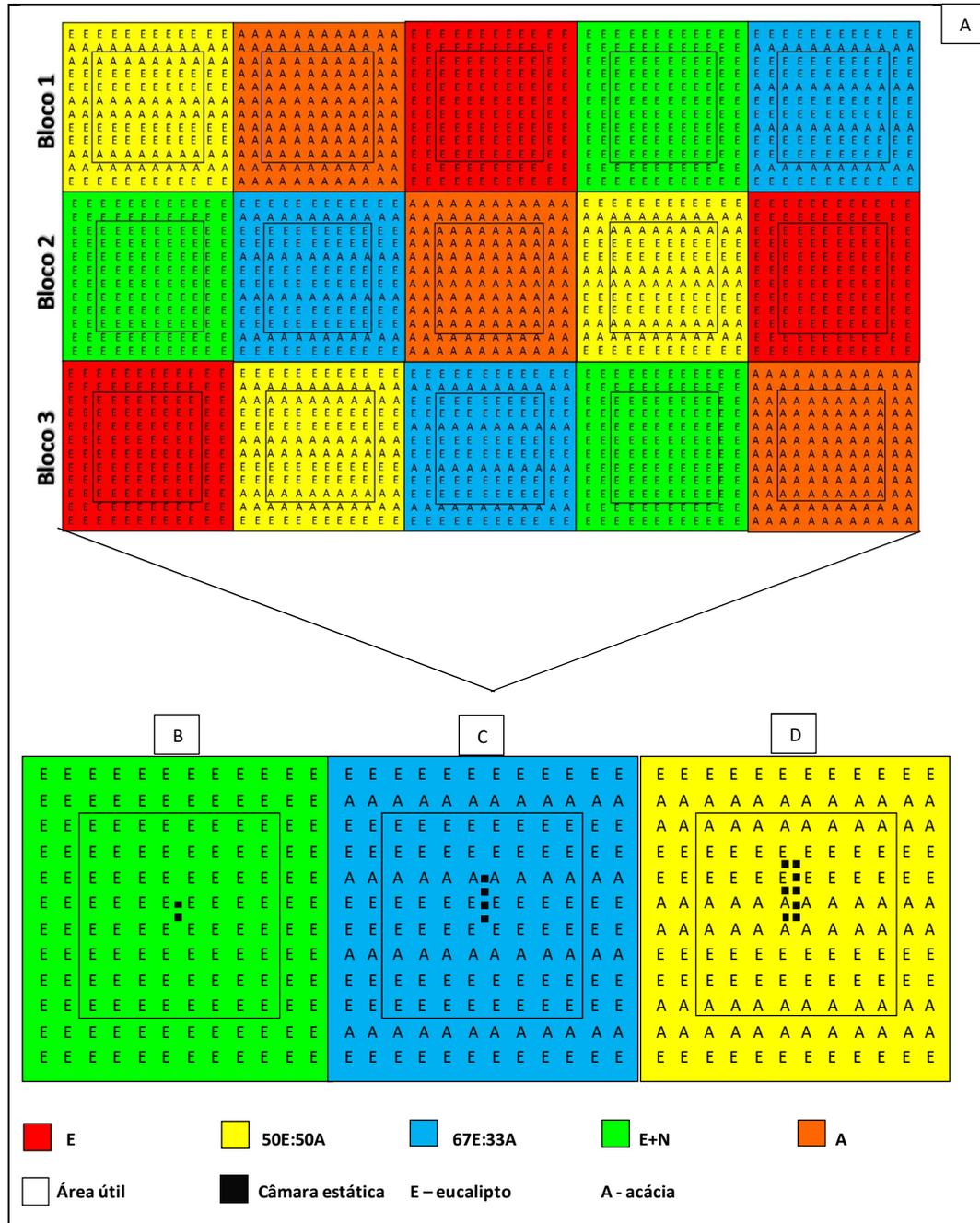


FIGURA 4- DISPOSIÇÃO DOS TRATAMENTOS EM CAMPO (A); DISPOSIÇÃO DAS CÂMARAS ESTÁTICAS PARA COLETA DE GEE NOS TRATAMENTOS E+N, E, A (B); DISPOSIÇÃO DAS CÂMERAS NO TRATAMENTO 67E:33A (C) E; DISPOSIÇÃO DAS CÂMERAS NO TRATAMENTO 50E:50A (D).

Para a análise da concentração, os gases foram transferidos das seringas para *vials* selados com septo de borracha butílica (Figura 5-E) (PARKIN e VENTERA, 2010), que foram previamente submetidos a vácuo, e posteriormente, as amostras foram analisadas por injetor automático, no cromatógrafo gasoso Shimadzu GC-2014, equipado com captura de elétrons (ECD) para mensuração das concentrações de N₂O (Figura 5-F).

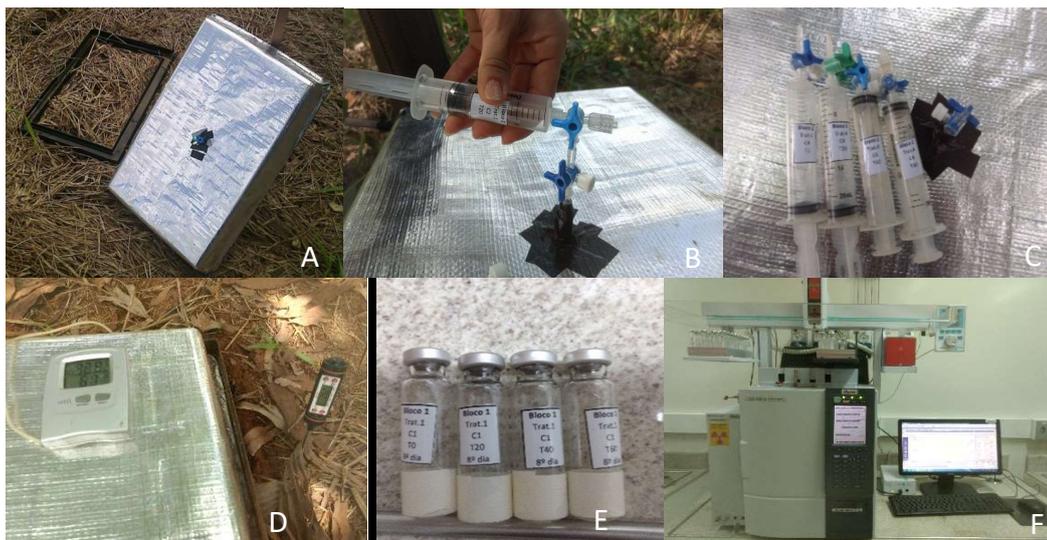


FIGURA 5- MODELO DE CÂMARA ESTÁTICA COM BASE E TOPO, PARA COLETA DE GEE (A); MODELO DE COLETA DO GÁS DO INTERIOR DA CÂMARA, COM SERINGAS EQUIPADAS COM VÁLVULAS DE TRÊS VIAS (B); SERINGAS UTILIZADAS NA COLETA DO GÁS, NO TEMPO 0, 20, 40 E 60 MIN. (C); TERMOHIGROMETRO E TERMÔMETRO ESPETO, UTILIZADO PARA AFERIÇÃO DA TEMPERATURA INTERNA DA CÂMARA E DO SOLO (D); VIAL COM VÁCUO UTILIZADO PARA ARMAZENAR O GÁS COLETADO NA SERINGA (E) E; CROMATÓGRAFO GASOSO PARA ANÁLISE DA CONCENTRAÇÃO DE GASES (F).

As concentrações de N₂O foram transformadas em unidade de fluxo, calculadas conforme equação 1 (EMBRAPA, 2014):

$$\text{Fluxo } (\mu\text{g N ou C m}^2\cdot\text{h}^{-1}) = (\Delta\text{C}/\Delta\text{t}) \times \text{V}/\text{A} \times (\text{m}/\text{Vm}) \quad (1)$$

Onde $\Delta\text{C}/\Delta\text{t}$: taxa de variação do gás dentro da câmara por unidade de tempo (ppm/hora); m: peso molecular (g); V: volume da câmara (L); A: área da câmara (m²); Vm: volume molecular do gás também em L (corrigido em função da temperatura no interior da câmara durante a

amostragem, sendo que 1 mol de gás ocupa 22,4 L nas condições normais de temperatura e pressão – CNTP. Então, multiplicou-se 22,4 por $(273+T)/273$, sendo T a temperatura média interior da câmara em graus celcius).

3.3.1 Atributos do solo

As coletas de solo foram realizadas ao lado de cada câmara estática de coleta de GEE e as datas de coleta estão apresentadas na Tabela 2.

Foram coletadas amostras deformadas de solo para determinação de nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) e indeformadas, para determinação de Espaço de Poros Preenchidos Por Água (EPPA) do solo, na profundidade de 0 – 10 cm.

As amostras indeformadas foram coletadas com castelinho, marreta e anéis volumétricos de Kopeck (Figura 6-A) de 98 cm³ de volume. Os anéis foram cravados no solo com auxílio de um batedor de anéis (marreta e castelinho) e retirados do solo com espátula e faca, liberando inicialmente as laterais. Após a coleta, foi realizado o toailete nos anéis, com auxílio de faca e estilete, retirando o excesso de solo das extremidades do anel, deixando apenas o solo que o preenche (Figura 6-B). Em seguida, o anel foi tampado (Figura 6-C) e encaminhado para o laboratório dentro de caixa térmica.

As amostras deformadas foram coletadas com o uso do trado holandês, colocado em sacos plásticos identificados e encaminhados ao laboratório em caixas térmicas.



FIGURA 6- COLETA DE SOLO INDEFORMADA. CASTELINHO, MARRETA E ANEL UTILIZADOS PARA COLETA (A); TOALETE FEITO NOS ANÉIS PARA NÃO ULTRAPASSAR O VOLUME (B); ANEL VOLUMÉTRICO DE KOPECK, DEVIDAMENTE TAMPADO PARA ENCAMINHAR AO LABORATÓRIO (C)

3.3.1.1 Espaço de poros preenchidos por água

Nas amostras indeformadas, foram determinados: densidade do solo (D_s) e a umidade gravimétrica (θ_g). Posteriormente, foi calculada a percentagem do EPPA, através da equação 2 (LINN e DORAN, 1984).

$$\text{EPPA \%} = (\theta_g \times D_s) / [1 - (D_s / D_p)] \quad (2)$$

Onde: θ_g umidade gravimétrica do solo (%), D_s é a densidade do solo (g cm^3) e D_p é a densidade de partículas do solo (g cm^3).

A densidade do solo (D_s) foi calculada conforme metodologia da EMBRAPA (1997), onde as amostras de solos com estrutura indeformada foram transferidas para latas de alumínio de peso conhecido e secadas em estufa a 105°C . Após 48 horas, as amostras foram pesadas, foi obtido o peso seco da amostra (M_s) e através do volume do anel (V) calculou-se a densidade pela equação 2.1.

$$D_s = M_s / V \quad (2.1)$$

Onde: M_s peso seco da amostra (g) e V volume do anel (cm^3).

A umidade gravimétrica foi determinada, após as amostras permanecerem em estufa a 105°C por 48 horas, conforme equação 2.2.

$$\theta_g \% = 100 \times ((M_u - M_s) / (M_s)) \quad (2.2)$$

Onde: μ é a massa amostra úmida (g); M_s é a massa amostra seca (g)

A densidade de partículas (D_p) foi determinada pelo método do balão volumétrico, na qual uma massa de solo conhecida (M), aproximadamente 20 g, foi colocada em um balão volumétrico de capacidade de 50 mL (V_b), o qual foi completado com álcool etílico contido em uma bureta. O volume de álcool gasto na bureta (V_I) foi utilizado para calcular o volume ocupado pela amostra de solo (V_s) através da equação 2.3.

$$V_s = V_b - V_I \text{ (mL} = \text{cm}^3) \quad (2.3)$$

Com o volume ocupado pela amostra de solo (V_s) foi possível calcular a densidade de partículas pela equação 2.4.

$$D_p = M/V_s \text{ (g/cm}^3) \quad (2.4)$$

3.3.1.2 Nitrito e amônio

Nas amostras deformadas, foram determinados o teor de nitrato (NO_3^-) e de amônio (NH_4^+) no solo. Para isso, foi realizada a extração do solo, pesando-se em erlenmeyers aproximadamente 20 g de solo úmido e adicionando-se 60 mL de solução extratora de KCl (2 mol L^{-1}), na proporção de 1:3. As amostras foram colocadas em um agitador horizontal, a 200 rpm, durante uma hora (Figura 7-A). Posteriormente, as amostras foram filtradas em papel filtro, coletando o filtrado em frascos de PVC (Figura 7-B).

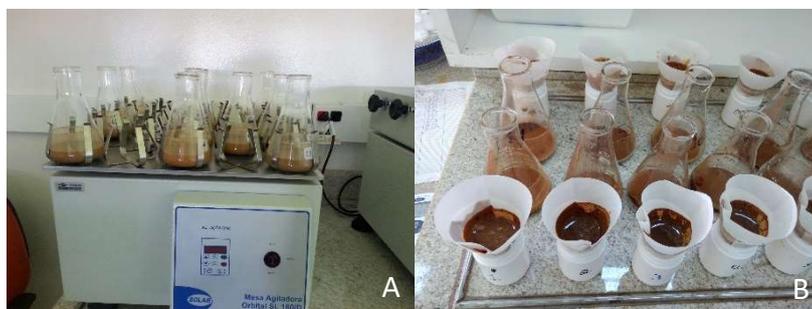


FIGURA 7- MÉTODO DE EXTRAÇÃO DO SOLO. AMOSTRAS EM AGITADOR HORIZONTAL (A); AMOSTRAS SENDO FILTRADAS EM FRASCOS DE PVC (B).

Após a etapa de extração, os teores de NO_3^- foram determinados em análises quantitativas por espectrometria UV-Vis (Hach DR 500) e para os teores de NH_4^+ , foi utilizada a mesma técnica, mas através de um leitor de placa de elisa (Thermo Scientific Multiskan FC). O espectrofotômetro gerou a absorvância de cada amostra.

Adicionalmente nesse processo, foi determinada a umidade de cada amostra, para utilização no cálculo de concentração de amônio e nitrato. Para isso, foram pesados 5 g de solo em potes de alumínio e secados em estufa de circulação de ar, à 105 °C, por 48 horas. Com a diferença de peso úmido e peso seco, obteve-se a umidade por amostra.

As concentrações de amônio e nitrato no solo (mg kg^{-1} de N) foram calculadas pela equação 3:

$$\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^- = \left[\left(\frac{\text{Abs}-b}{a} \right)_A - \left(\frac{\text{Abs}-b}{a} \right)_B \right] x (V + v) x \frac{1}{P} \quad (3)$$

Onde: *Abs* é a absorvância da amostra lida no espectrofotômetro e *a* e *b* são os coeficientes da curva analítica. O índice *A* significa o cálculo da concentração no extrato da amostra e o *B*, do branco. *V* é o volume do extrato (em mL); *v* é o volume de umidade na amostra (em mL), calculado como a diferença entre peso úmido e o peso seco da amostra de solo usado na extração; e *P* é o peso seco da amostra de solo usada na extração (em g).

Para o cálculo de concentrações de nitrogênio na forma de amônio (N- NH_4^+) e nitrogênio na forma de nitrato no solo (N- NO_3^-) (em mg kg^{-1} de N), foram utilizados o peso molecular de cada elemento químico, conforme equação 3.1 e 3.2.

$$\text{N-NH}_4^+ = (\text{NH}_4^+ \times 14)/18 \quad (3.1)$$

$$\text{N-NO}_3^- = (\text{NO}_3^- \times 14)/62 \quad (3.2)$$

3.3.2 Influência no modo de aplicação do adubo para as emissões de N_2O

Adicionalmente, foram realizados estudos para acompanhar a emissão de óxido nitroso (N_2O) em aplicações de adubo nitrogenado em coveta e em superfície.

Para isso, foram utilizadas as duas câmaras já instaladas no tratamento de monocultivo adubado (E+N) e adicionada mais uma câmara nesse mesmo tratamento, da seguinte forma: uma câmara não recebeu adubação (controle), uma câmara recebeu adubação por coveta (Figura 8-A) e uma câmara recebeu adubação em superfície (Figura 8-B).

A data e quantidade de adubo segue o descrito anteriormente, com adubação realizada em dezembro de 2016, com 190 kg ha^{-1} de ureia (85 kg ha^{-1} de N), sendo 170 g de ureia por árvore. Como o adubo foi distribuído em ambos os lados da árvore, cada câmara recebeu 85 g de ureia.

Os gases coletos nessa terceira câmara (adubação em superfície) não entraram nos cálculos de fluxos da metodologia anterior.



FIGURA 8- APLICAÇÃO DO ADUBO NITROGENADO NAS CÂMARAS DO TRATAMENTO E+N, SENDO APLICAÇÃO POR COVETA (A) E; APLICAÇÃO EM SUPERFÍCIE (B).

A coleta de gases de efeito estufa e solo para análise de EPPA, nitrato e amônio desse tratamento, seguiu a metodologia descrita anteriormente e como a adubação foi realizada em dezembro, essas coletas só compreenderam o período de chuva, sendo todas as coletas

realizada nas mesmas datas descritas para os gases de efeito estufa dos demais tratamentos. Para efeito de comparações, em todas coletas de solo foram realizadas amostragens próximas a câmara adubada em coveta e outra próxima a câmara adubada em superfície.

3.4 CRESCIMENTO DAS ÁRVORES

A análise do crescimento das árvores (altura e DAP), foi realizada nos mesmos tratamentos mencionados anteriormente, em quatro blocos.

As medições de circunferência na altura do peito e altura total foram realizadas em todas as árvores que compõe cada parcela útil (64 árvores por parcela), em dois momentos, aos 15 meses (abril 2016) e 26 meses (março 2017) após o plantio das árvores.

A circunferência na altura do peito (CAP) foi medida com fita métrica a 1,30 cm do solo. Posteriormente, o CAP foi transformado para diâmetro à altura do peito (DAP, cm) dividindo o valor de CAP por π (π).

A altura total (Ht, m) das árvores foi medida com Hipsômetro Vertex e a área basal da parcela (AB, m² ha⁻¹) foi obtida pela soma da área basal individual (m²). A área basal individual foi obtida pela equação 4:

$$g = \frac{\pi \cdot DAP^2}{4} \quad (4)$$

O incremento periódico (IP) expressou o crescimento em um período de 11 meses, apresentando o crescimento da árvore em altura e DAP dos 15 aos 26 meses e foi obtido conforme equação 5.

$$IP = Y_{(t+n)} - Y_t \quad (5)$$

Onde: IP = incremento periódico; Y = dimensão considerada; t = idade; n = período de tempo.

3.5 SERAPILHEIRA

Considerou-se serapilheira toda matéria orgânica morta acima do solo.

Amostras de serapilheira foram coletados aos 29 meses (junho 2017) após o plantio, com gabarito 0,5 x 0,5 m (0,25 m²) e colocadas em sacos rafia (Figura 9). Nos casos onde a serapilheira ficou parte dentro e parte fora da moldura, foi cortado com faca e coletada apenas a parte que estava no interior das mesmas.

Nos tratamentos de monocultivo (E+N; E e A) foram coletados oito pontos de forma aleatória, distribuídas nas linhas e entrelinhas de plantio das árvores. Nos tratamentos 67E:33A e 50E:50A foram coletados doze pontos, sendo quatro nas linhas de eucalipto, quatro nas linhas de acácia e quatro na transição entre as linhas de eucalipto e acácia.



FIGURA 9- COLETA DE SERAPILHEIRA NO MONOCULTIVO DE A (A); NO PLANTIO MISTO 67E:33A (B) E; GABARITO APÓS COLETA DE SERAPILHEIRA (C).

As amostras coletadas foram pesadas (Figura 10-A) e homogeneizadas (Figura 10-B), de onde foram retiradas subamostras de aproximadamente 200 g, que foram colocadas em sacos de papel kraft (Figura 10-C). A pesagem foi realizada com balança de precisão de 0,01g.

Em laboratório, as amostras foram secas em estufa de circulação e renovação de ar, a 65 °C, até alcançarem massa seca constante e pesadas novamente (Figura 10-D).



FIGURA 10- PESAGEM DA SERAPILHEIRA TOTAL, COLETADA NA PARCELA (A); AMOSTRAS HOMOGENEIZADAS (B); PESAGEM DE UMA SUBAMOSTRA (C) E; SECAGEM DA SERAPILHEIRA EM ESTUFA (D).

A partir da matéria total fresca de cada amostra e da relação entre o peso da matéria seca e fresca de cada subamostra foi estimada a matéria seca total de serapilheira depositados sobre o solo (Mg ha^{-1}).

3.5.1 Nutrientes na serapilheira

A matéria seca de serapilheira de cada parcela, após seca, foi moída a partículas de aproximadamente 1 mm, em moinho tipo Wiley e homogeneizada para quantificar os teores de C e macronutrientes (N, P, K, S, Ca e Mg).

Foram pesadas 50 mg do material moído em cápsula de estanho e os teores de carbono (C), nitrogênio (N) e enxofre (S) foram determinados por combustão a seco, em analisador elementar CHNS (Vario Macro, Elemental Analyser System, Hanau, Alemanha) e estimado o total de S, C e N presente na matéria seca da serapilheira (Mg ha^{-1}).

Para os demais nutrientes (P, K, Ca e Mg), foi realizada a digestão seca, com pesagem de 500 mg da serapilheira moída em cadinhos, levados a mufla a 550°C , por aproximadamente três horas e após o resfriamento, essas amostras foram transferidas para tubos de centrifuga e adicionado ácido clorídrico (HCl) 0,1 M para extração dos nutrientes e determinação por espectrometria de absorção atômica (PERKIN ELMER, ANALYST 200) e espectrofotometria (UNICO2100).

O conteúdo (Kg ha^{-1}) de N, P, K, S, Ca e Mg foram calculados com base nas concentrações e produção de matéria seca.

3.6 CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO

Para análise de carbono e nitrogênio presentes no solo, foram realizadas coletas deformadas e indeformadas, aos 29 meses após o plantio (junho 2017).

As amostras deformadas, para determinar o teor de carbono (C) e nitrogênio (N), foram coletadas com o auxílio de um amostrador automático com broca adaptada em quadriciclo. A fim de representar toda área de cada parcela experimental, foram coletadas 20 amostras simples para compor uma amostra composta, para cada profundidade, sendo: 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 30 cm e 30 – 50 cm, totalizando 75 amostras.

A área de referência de mata nativa (MN), foi dividida em três parcelas e a coleta foi realizada com trado holandês, nas mesmas profundidades compreendidas para os tratamentos, totalizando 15 amostras.

O solo coletado foi colocado em sacos plásticos, separado por profundidade, tratamento e bloco, devidamente identificados e encaminhadas para o laboratório da Embrapa Agrossilvipastoril. Posteriormente, as amostras foram secas ao ar, até alcançarem peso constante e subsequente, as amostras foram destorroadas e passadas em peneira de 2 mm de malha, obtendo Terra Fina Seca ao Ar (TFSA).

As amostras indeformadas, para análise da densidade do solo, foram abertas três minis trincheiras em cada parcela e coletadas amostras indeformadas com anéis volumétricos de Kopeck, de 98 cm^3 de volume, nas mesmas profundidades que as amostras deformadas, totalizando 225 coletas. O mesmo foi realizado na mata nativa, para cada parcela delimitada.

Antes do plantio, também foram realizadas coletas de solo deformada e indeformada, para análise de C e N do solo, considerado o tempo zero (T0). Para a coleta de solo indeformada, foi seguido o mesmo padrão mencionado anteriormente e para coleta deformada, foi realizado com trado holandês, conforme realizado na mata nativa.

Nas amostras indeformadas, foi calculado a densidade do solo (Ds), seguindo a mesma metodologia descrita para Espaços de Poros Preenchidos por Água.

Para a determinação dos teores de carbono e nitrogênio, as amostras de solo deformadas foram moídas em almofariz de ágata e pesados aproximadamente 50 mg em cápsula de estanho. Os teores foram determinados por combustão a seco, em analisador elementar CHNS (Vario Macro, Elementar Analyser System, Hanau, Alemanha).

Com os resultados dos teores, foi calculada o estoque de C e N para cada uma das camadas de solo, para cada parcela, de acordo com a equação 6 (VELDKAMP, 1994).

$$Est\ C\ ou\ N = \frac{(CO\ ou\ N \times DS \times e)}{10} \quad (6)$$

Onde: Est C= estoque de C ou N orgânico em determinada profundidade (Mg ha⁻¹);

CO = teor de C orgânico ou N total na profundidade amostrada (g kg⁻¹);

Ds = densidade do solo da profundidade (kg dm⁻³);

e = espessura da camada considerada (cm).

O estoque de C e de N de cada tratamento foi corrigido baseado na correção de SISTI et al. (2004), pelo método da massa equivalente de solo, utilizando-se a massa de solo do sistema de vegetação natural como referência, conforme apresentado na equação 6.1.

$$Cs = \sum_{i=1}^{n-1} Cti + [Mtn - (\sum_{i=1}^n Mti - \sum_{i=1}^n Msi)] * Ctn \quad (6.1)$$

Onde: Cs = estoque de C total, em Mg ha⁻¹, corrigido em função da massa de solo de uma área de referência;

$\sum_{i=1}^{n-1} Cti$ = somatório dos estoques de C do solo da primeira à penúltima camada amostrada no tratamento considerado (Mg ha⁻¹);

Mtn = massa do solo da última camada amostrada no tratamento (Mg ha⁻¹);

$\sum_{i=1}^n Mti$ = somatório da massa total do solo amostrado sob o tratamento (Mg ha⁻¹);

$\sum_{i=1}^n Msi$ = somatório da massa total do solo amostrado na área de referência (Mg ha⁻¹);

Ctn = teor de C do solo na última camada amostrada (Mg C Mg⁻¹ de solo).

3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Previamente foram testados os pressupostos para análise de variância, sendo a normalidade através do teste de Shapiro-Wilk para os dados de gases de efeito estufa e Lilliefors para os demais dados. A homogeneidade da variância foi testada pelos testes Hartley, Cochran e Bartlett.

Os dados de gases de efeito estufa não apresentaram normalidade e homogeneidade da variância ($p < 0,05$), mesmo após transformação (raiz quadrada, angular e logarítmica). Portanto, esses dados foram analisados utilizando estatística não paramétrica e assim foi utilizado o teste de Kruskal Wallis como alternativa a análise de variância ANOVA. Para a comparação entre os tratamentos, foi utilizado o teste de Nemenyi recomendado para grupos com o mesmo número de observações e análogo ao teste Tukey. Foram construídos gráficos de médias com o intervalo de confiança. Para esses dados, foram utilizados gráficos de correlação (e.g. Correlogramas) para associar as variáveis EPPA, nitrato e amônio com o fluxo de N₂O. A análise de correlação foi realizada utilizando o coeficiente de correlação de Pearson.

Os dados diários de N₂O, EPPA, nitrato e amônio, foram avaliados por meio da análise descritiva dos dados pelo uso do erro padrão da média.

Os dados de estoque e teor de carbono e nitrogênio no solo, atenderam aos pressupostos, exceto para o teor de N na camada de 5 – 10 cm. Mesmo com as transformações, esses dados não atenderam aos pressupostos de homogeneidade das variâncias. Sendo assim, foi

realizado teste de Kruskal Wallis para o teor de N nessa camada e os demais dados foram submetidas a análise de variância, a 5% de probabilidade, comparando os tratamentos através do teste de *tukey*, quando apresentavam diferenças.

Os dados de serapilheira após transformados (raiz quadrada), atenderam aos pressupostos e o teor de nutrientes da matéria seca da serapilheira, altura e DAP, também atenderam aos pressupostos e foi realizado a análise de variância, a 5% de probabilidade, comparando os tratamentos através do teste de *tukey*, quando apresentavam diferenças. Os efeitos dos tratamentos para esses dados foram desdobrados através de contrastes, ao nível de 5% de probabilidade, e do erro padrão da média, sendo: C1: monocultivo de eucalipto adubado versus monocultivo de eucalipto não adubado (E+N vs. E); C2: monocultivo de eucalipto adubado versus eucalipto dentro dos plantios mistos (E+N vs. E d/pm); C3: monocultivo de eucalipto não adubado versus eucalipto dentro dos plantios mistos (E vs. E d/pm); C4: eucalipto dentro do plantio misto 67E:33A versus eucalipto dentro do plantio misto 50E:50A (E67 vs. E50 d/pm); C5: monocultivo de acácia versus acácia dentro dos plantios mistos (A vs. A d/pm); C6: acácia dentro do plantio misto 67E:33A versus acácia dentro do plantio misto 50E:50A (A33 vs. A50); C7: monocultivo de acácia versus eucalipto dentro do plantio misto 67E:33A (A vs. E d/ 67E:33A); C8: monocultivo de acácia versus eucalipto dentro do plantio misto 50E:50A (A vs. E d/ E50:A50). Onde, E: Eucalipto; N: Nitrogênio; A: Acácia; 50, 67 e 33 são a porcentagem de eucalipto e acácia dentro do tratamento; pm: plantio misto; vs.: versus e; d/: dentro de.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 VARIACÃO TEMPORAL DOS FLUXOS DE N₂O DO SOLO

A variação temporal dos fluxos de N₂O nas áreas de estudo durante o período de seca foi caracterizado por valores máximos de 5,44 $\mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (67E:33A) e mínimos de -0,23 $\mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (50E:50A) (Figura 11-A). O influxo de N₂O foi observado somente nesse período, com valores de EPPA do solo <20% (Figura 11-D) associado a níveis de N-NO₃⁻ abaixo de 10 mg kg⁻¹ (Figuras 11-B) e de N-NH₄⁺ abaixo de 1 mg kg⁻¹ (Figuras 11-C).

Já no período de chuva, os fluxos foram predominantemente positivos com eventos de precipitação pluvial, observando maiores valores de emissões em todos os tratamentos, quando comparados à época de seca. O menor valor de fluxo encontrados foi próximo ao maior fluxo do período da seca, de aproximadamente 6,24 $\mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (E). O maior valor de fluxo para esse período foi no tratamento controle (E+N), com emissões de 189,49 $\mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (Figura 11-A). Nesse período, os valores de EPPA foram sempre maiores que 50% e chegaram à valores de 81%, evidenciando solos encharcados (Figura 11-D).

Foram observados baixos teores de nitrato no solo (Figura 11-B) no período de chuva, mesmo após adubação do tratamento E+N. Esse fato, relacionado às altas taxas de amônio nesse período (Figura 11-C), pode indicar a redução do N-NH₃⁻ a NH₄⁺, porém, esse processo acontece em pequenas proporções no solo (CANTARELLA, 2007).

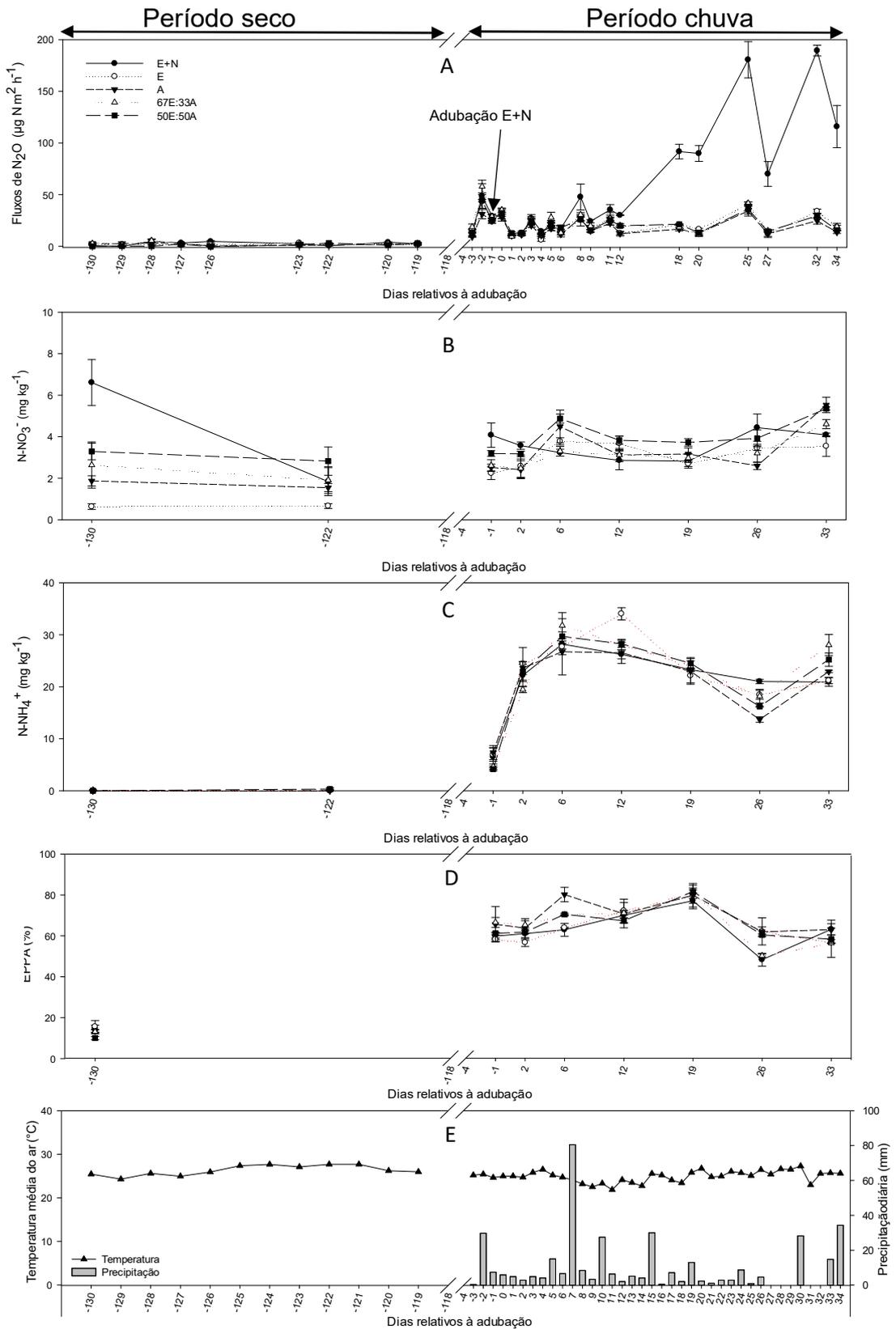


FIGURA 11- FLUXO DE N_2O (A); TEOR DE NITRATO (B); TEOR DE AMÔNIO (C); ESPAÇOS DE POROS PREENCHIDOS POR ÁGUA (D); PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA (E), PARA OS PERÍODOS DE SECA E CHUVA. BARRA VERTICAL INDICA O ERRO PADRÃO DA MÉDIA (N = 3).

A disponibilidade de nitrato e de amônio, são fatores determinantes da magnitude das emissões de N_2O do solo (CARMO et al., 2005; JANTALIA et al., 2006). De acordo com Chapuis-Lardy et al. (2007), valores negativos de N_2O , como encontrado no presente estudo durante a seca, podem estar associados ao baixo teor de N disponível no solo, cessando atividades de nitrificação e desnitrificação, principais processos para emissão de N_2O .

Além disso, a baixa umidade do solo também pode interferir na emissão de N_2O , pois nessas condições o ar pode difundir-se pelos macro e micro poros do solo e permite que os microrganismos utilizem do N_2O como fonte de N (ROSEKRAN et al., 2006). De acordo com trabalho de Carvalho et al. (2015) e Neves (2016), os baixos fluxos de N_2O estão associados diretamente ao baixo N mineral e drenagem rápida de água no solo, não oferecendo condições favoráveis para fluxos elevados de N_2O . Nobre et al. (2001), estudando os fluxos de N_2O em condições de solo incubado, observaram que a produção de N_2O é menor em solo com baixa umidade, mesmo após adição de $N-NH_4^+$ e $N-NO_3^-$.

O processo de nitrificação é realizado principalmente em condições aeróbicas de solo e o amônio é o principal receptor de elétrons para bactérias quimioautotróficas realizarem tal atividade (CANTARELA, 2007).

Considerando a baixa disponibilidade do amônio (Figura 11-C) no solo para o período de seca, é possível inferir que a baixa emissão de N_2O possa ter ocorrido por processo de nitrificação, isto é, a oxidação aeróbica do amônio ao nitrito e depois ao nitrato que produz N_2O como subproduto (USSIRI e LAL, 2013). Como os valores de nitrato (Figura 11-C) foram maiores do que de amônio (Figura 11-D) para esse período, é possível que o amônio tenha sido utilizado no primeiro processo da nitrificação, gerando nitrato e no segundo processo, que o nitrato após a nitrificação teria como produto final o N_2O , o processo tenha ocorrido lentamente, resultando em baixas emissões. Além disso, o principal produto gerado da nitrificação, é o NO_2^- e não o N_2O , o que pode justificar a baixa emissão de N_2O observada nesse período.

Para o período de seca, a ocorrência concomitante de desnitrificação provavelmente foi restrita devido à ausência de micro sítios anaeróbicos dentro dos micro agregados do solo (SEY et al., 2008), decorrente dos baixos valores de EPPA. Sendo assim, os baixos fluxos de N_2O encontrados nesse estudo para o período de seca, estão relacionados a alta porosidade do solo, condições de seca e baixo teor de N disponíveis no solo.

Já as maiores emissões de N_2O no período da chuva, ocorreram principalmente por influência de processos de desnitrificação, já que esse processo é realizado por bactérias anaeróbicas em solos predominantemente encharcados. Esse processo é uma via de redução, onde bactérias do gênero *Pseudomonas*, por exemplo, utilizam o NO_3^- como acceptor de elétrons no lugar do O_2 e o carbono orgânico como fonte de energia (BARNARD e LEADLEY, 2005; CANTARELLA, 2007; DENK et al, 2017). Esse NO_3^- é reduzido a NO_2^- e sequencialmente a N_2O (DENK et al, 2017; RODRIGUES et al, 2017). O equilíbrio de nitrogênio inorgânico em solos sob florestas, associada a eventos de altas precipitações, pode favorecer a desnitrificação e conseqüentemente produção de N_2O que será liberado para atmosfera (ROSEKRANS et al., 2006; KONDA et al., 2010; FANG et al., 2012).

O fato do teor de nitrato encontrado no solo ser baixo, pode indicar contínuos processos de desnitrificação, utilizando esse composto. De acordo com o Cantarella (2007), o nitrato desaparece rapidamente (poucas horas) do solo após a desnitrificação, sendo reduzido preferencialmente a N_2O para atmosfera (produto final desse processo).

A atividade microbiana do solo, que realiza a nitrificação e desnitrificação, é altamente afetada pelos níveis de umidade do solo. Dessa forma, as perdas de nitrogênio por atividades microbianas, são predominantemente governadas por EPPA (LINN e DORAN, 1984). Para que ocorra o processo de desnitrificação, é necessário que haja disponibilidade de N inorgânico no solo e condições de anaerobiose, ou seja, com alto nível de EPPA.

Esse processo é intensificado quando os valores de EPPA são iguais ou ultrapassam 80%, porém, o produto final nessas condições, será principalmente o N_2 e não o N_2O (LINN e DORAN, 1984; BATEMAN e BAGGS, 2005). De acordo com Davidson et al. (1991), Bouwman (1998) e Bateman e Baggs (2005) as emissões máximas de N_2O podem ser esperadas com EPPA entre 50 a 80% ou 60 a 90%, dependendo das propriedades físicas do solo.

Durante o período de estudo, o maior valor de EPPA ocorreu no 19º dia após adubação (81%) nos tratamentos de 67E:33A e 50E:50A. No 20º dia, o fluxo de N_2O reduziu de aproximadamente 18 para 11 $\mu g N m^{-2} h^{-1}$ e de 21 para 13 $\mu g N m^{-2} h^{-1}$ nos respectivos tratamentos. Isso pode indicar, que nessas condições, o processo de desnitrificação reduziu a produção de N_2O como produto final do processo, produzindo principalmente N_2 .

Os menores valores de EPPA foram verificados no 26º dia após adubação, para todos os tratamentos, o que refletiu em queda nas emissões de óxido nítrico no 27º dia (Figura 11-D), confirmando a influência de valores ideais de EPPA para o processo de desnitrificação, com consequência de emissões de N_2O . Nesse mesmo período, o nitrato, receptor principal de elétrons da nitrificação, teve aumento, podendo indicar que o processo de desnitrificação ocorria de forma mais lenta em valores mais baixos de EPPA.

O maior valor médio de EPPA encontrado nesse estudo, foi de 69% (A), enquanto nos demais tratamentos as médias foram inferiores a 66%. Nessas condições, o processo de desnitrificação é intensificado, como já mencionado anteriormente. No entanto, o processo de nitrificação também pode ter sido um fator de emissão para os dias de chuva. Bateman e Baggs (2005) encontraram até 81% das emissões de N_2O ocorrendo por nitrificação, entre 60 e 70% de EPPA. Segundo esses autores, vários processos podem produzir simultaneamente N_2O no solo a 60% EPPA e abaixo. Nesse sentido, para confirmar qual principal processo está ocorrendo no solo resultando na produção N_2O como produto final, é preciso realizar estudos mais refinados e específicos.

No período de seca (Figura 12-A), os tratamentos não apresentaram diferença significativa ($p= 0,22$) no fluxo de N_2O . Já para o período de chuva, o tratamento controle (E+N) diferiu significativamente ($p = 0,033$) dos demais (Figura 12-B).

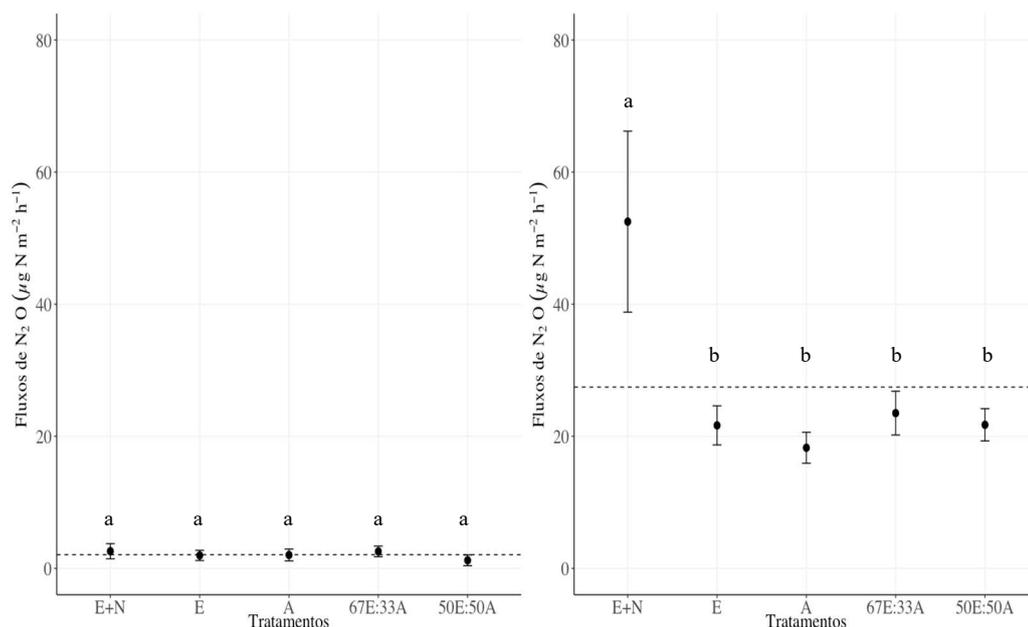


FIGURA 12- MÉDIAS DE N_2O NO PERÍODO DE SECA (A) E CHUVA (B). A LINHA TRACEJADA REPRESENTA A MÉDIA DA POPULAÇÃO GERAL. AS BARRAS COM A MESMA LETRA NÃO DIFEREM DE ACORDO COM O TESTE DE KRUSKAL WALLI ($P < 0,05$). AS BARRAS VERTICAIS REPRESENTAM OS INTERVALOS DE CONFIANÇA DOS DADOS ($N = 3$).

No período de seca foram observados baixos fluxos médios nos tratamentos, o que pode ser explicado pela baixa disponibilidade de nitrogênio inorgânico no solo, relacionados aos fatores de umidade, como explicado anteriormente.

Para o período de chuva, todos os tratamentos ficaram abaixo da média geral dos tratamentos, exceto o tratamento E+N, que apresentou maiores fluxos, sendo esse, estatisticamente diferente dos demais. A aplicação de fertilizante nitrogenado no tratamento E+N resultou na elevação dos fluxos de N_2O , com aproximadamente 40% dos fluxos totais dos tratamentos, durante esse período. Esses fluxos começaram a ser

notados oito dias após aplicação de N (Figura 11-E), coincidindo com o maior evento de chuva após aplicação de N, quando a umidade do solo aumentou.

Hickman et al. (2014) quantificaram as emissões de óxido nitroso (N_2O) em resposta a diferentes doses de fertilizantes N na cultura do milho (*Zea mays* L.), no oeste do Quênia e observaram que mais de 60% dos fluxos ocorreram nas três semanas após a aplicação do fertilizante. No entanto, tais fluxos só foram notados após um evento de chuva, quando a umidade do solo aumentou.

Carvalho et al. (2017), em estudo de quantificação dos fluxos de N_2O do solo em sistemas de produção integrados com eucalipto, encontraram as maiores taxas de fluxos com aplicação de N, resultando em 50% dos fluxos observados durante o experimento sendo obtidos no período de aplicação de fertilizantes. A resposta a N geralmente pode ser observada na primeira a segunda semana após a sua aplicação e geralmente desaparece dentro de dois meses (SIGNOR e CERRI, 2013).

No presente estudo, houve redução do nitrato após a adubação nitrogenada no tratamento E+N (Figura 11-F). Isso pode indicar que os microrganismos desnitrificadores tiveram uma maior atividade pela maior disponibilidade de N inorgânico disponibilizado pela adubação, resultando em maiores emissões de N_2O decorrentes do processo final dessa atividade.

Segundo Cantarella (2007), o amônio produzido a partir de adubação com fertilizantes aplicados em superfície ou próximos da superfície é rapidamente reduzido a nitrato por nitrificação, mesmo em solos encharcados, e esse nitrato se move rapidamente por difusão para as camadas inferiores, onde é reduzido e rapidamente desnitrificado, resultando em emissões de N_2O como produto desse processo. Esse fato pode explicar o rápido aumento das emissões no tratamento adubado após dias de intensas precipitações. O processo de nitrificação e desnitrificação, pode representar perdas de até 50% no N aplicado via fertilizantes químicos (PATRICK JR, 1982).

Zhang et al. (2017) testou o uso de diferentes doses de nitrogênio ($334 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-2}$, $167 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-2}$, $84 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-2}$ e $0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-2}$), aplicados em coveta (10 cm) em plantações de eucalipto (*Eucalyptus urophylla* × *grandis*) no sul da China e concluiu que as emissões de óxido nítrico foram totalmente dependentes da quantidade de adubação aplicada, variando de $11 - 95 \mu\text{g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. De acordo com os autores, tal fato ocorreu pelo aumento do N inorgânico para realização de nitrificação e desnitrificação

A média de fluxo de N_2O no tratamento E+N na chuva foi aproximadamente $53 \mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (Figura 12-B), resultado superior ao encontrado nos tratamentos de plantio misto. No entanto, quando comparado a outros estudos que receberam adubação em superfície, essa emissão é inferior. No trabalho de Nogueira et al., (2015) realizado em pastagens na Amazônia, foram aplicados 57 kg N ha^{-1} , na forma de ureia, em superfície, o que resultou em emissão de aproximadamente $77 \mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ de N_2O no período de chuva. Isso indica que se usarmos esse estudo como base, e a mesma quantidade de adubo que utilizamos fosse aplicado em superfície nessa área de pastagem, as emissões desse gás poderia ser 35% superior.

As emissões de N_2O não foram significativamente correlacionadas com as variáveis do solo (EPPA, nitrato, amônio e temperatura do solo) ($p > 0,05$). Baixas correlações positivas foram observadas entre o N_2O e o N-NO_3^- e temperatura do solo, na época da chuva e com N-NO_3^- e EPPA na época da seca (Figura 13).

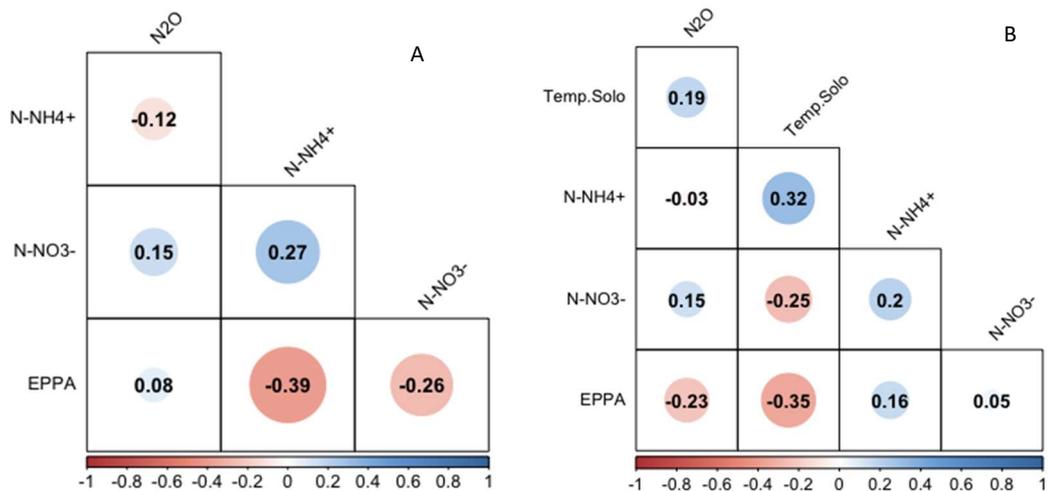


FIGURA 13- CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS DO SOLO N-NH₄⁺ (AMÔNIO), N-NO₃⁻ (NITRATO), EPPA (ESPAÇO DE POROS PREENCHIDO POR ÁGUA); E TEMP. SOLO (TEMPERATURA DE SOLO) COM ÓXIDO NITROSO (N₂O) PARA O PERÍODO DE SECA (A) E CHUVA (B). CÍRCULOS VERMELHOS E AZUIS REPRESENTAM CORRELAÇÕES NEGATIVAS E POSITIVAS, RESPECTIVAMENTE. INTENSIDADE DA COR E TAMANHO DOS CÍRCULOS REPRESENTAM A INTENSIDADE DA CORRELAÇÃO. VALORES DENTRO DO CÍRCULO REPRESENTAM OS VALORES DA CORRELAÇÃO. BARRA DE LEGENDA INFERIOR REPRESENTA ESCALA DA CORRELAÇÃO COM INTENSIDADE DE CORES.

Para o período da seca, o acumulado de emissão de N₂O variou de 11 µg N m⁻² h⁻¹ (50E:50A) à 23 µg N m⁻² h⁻¹ (A+N). No período da chuva, o tratamento E+N apresentou maiores valores de acumulado, chegando à 1096 µg N m⁻² h⁻¹. Os demais tratamentos tiveram o acumulado variando de 365 µg N m⁻² h⁻¹ (A) à 470 (67E:33A), sem apresentar diferenças (Figura 14).

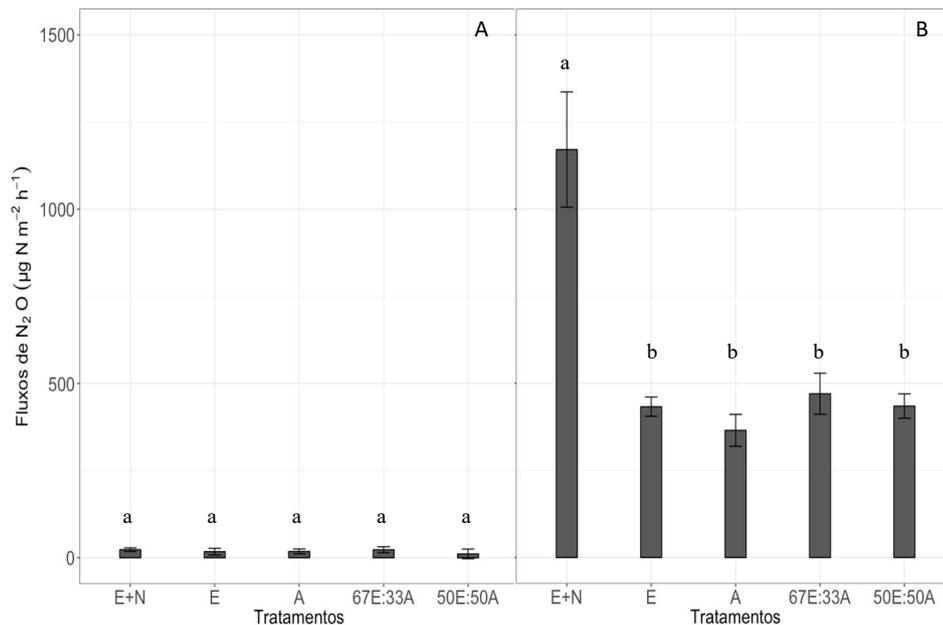


FIGURA 14- ÓXIDO NITROSO ACUMULADOS DURANTE TODO O PERÍODO DE COLETA NA SECA (A) E NA CHUVA (B). BARRAS VERTICAIS REPRESENTAM DESVIO PADRÃO DA MÉDIA (N = 3).

Vários trabalhos (BINKLEY et al., 1992; GARCIA-MONTIEL e BINKLEY, 1998; ERICKSON et al., 2001; DICK et al., 2006) mostram que em plantios com leguminosas arbóreas fixadoras de N podem ocorrer elevados fluxos de N₂O, o que é atribuído à maior velocidade de ocorrência do ciclo de N devido as maiores concentrações desse nutriente na serapilheira (folhas, galhos, raízes mortas).

No entanto, nesse estudo, até os 24 meses, não foi observado aumento nas emissões de N₂O nos tratamentos com acácia em comparação os demais que não receberam adubação nitrogenada. Isso é um forte indicativo dos benefícios que leguminosas podem levar aos sistemas mistos, quando comparados à monocultivos com utilização de adubos nitrogenados

4.1.1 Efeitos da forma de aplicação de nitrogênio nos fluxos de N₂O do solo

A menor variação temporal dos fluxos de N₂O para o controle (sem aplicação de ureia), aplicação em superfície e em coveta foi no dia posterior a adubação, com valores de 7,46, 7,16 e 13,07 $\mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$, respectivamente.

Os valores para aplicação em superfície começaram a aumentar 11 dias após adubação e a aplicação em coveta, apresentaram aumento 18 dias após adubação. Essas ocorrências de emissões podem ter ocorridos pelo alto evento de precipitação no dia 7º dia após adubação (Figura 11-E).

No entanto, os maiores valores de fluxos foram apresentados 25 dias após adubação, para o controle e para aplicação em superfície e 32 dias após adubação, para aplicação em coveta. Esses fluxos chegaram a 55,86, 490,18 e 5598,49 $\mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$ para o controle, coveta e superfície, respectivamente (Figura 15-A). Os valores de nitrogênio na forma de nitrato foram sempre menores que 6 mg kg^{-1} (Figura 15-B) e amônio chegou a valores próximos de 30 mg kg^{-1} (Figura 15-C) e os valores de EPPA foram próximos a 80% (Figura 15-D), seguindo o mesmo padrão para os dias de coleta, para ambas as formas de aplicação do N.

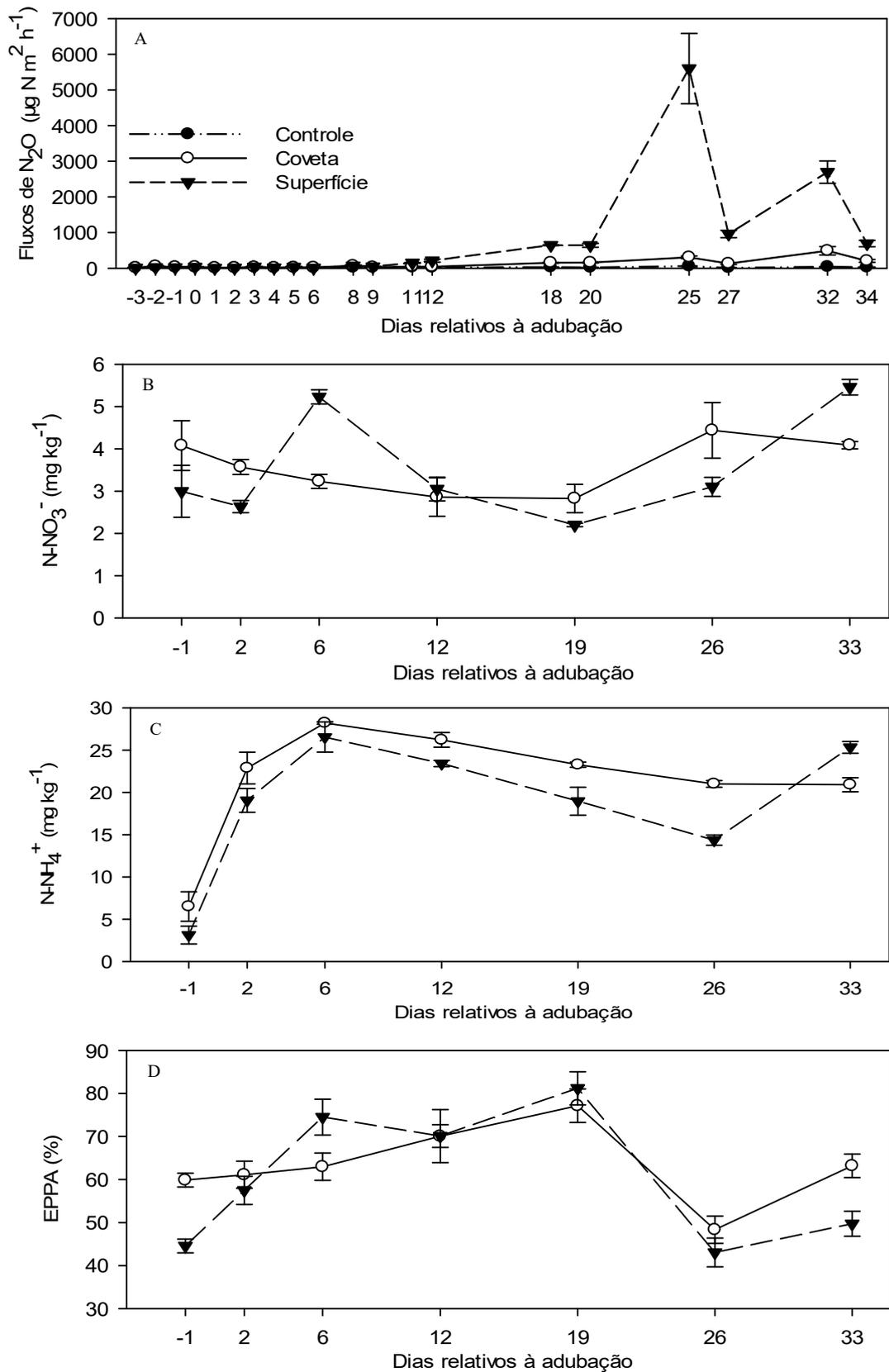


FIGURA 15- FLUXO DE N₂O (A); TEOR DE NITRATO (B); TEOR DE AMÔNIO (C) E; ESPAÇOS DE POROS PREENCHIDOS POR ÁGUA (D). BARRAS VERTICAIS REPRESENTAM O ERRO PADRÃO DA MÉDIA (N = 3).

Os valores de nitrogênio na forma de nitrato e amônio no solo, não correlacionaram positivamente com as emissões de N_2O (Figura 16) e não foram os principais fatores para as altas emissões, já que, exceto para o último dia, o amônio apresentou valores mais elevados na câmara com aplicação em coveta. Os maiores valores de nitrato foram observados no 6º e 33º dias após aplicação, mas não foi verificado um aumento de emissões decorrentes disso (Figura 15-B). O EPPA também correlacionou negativamente com o fluxo de N_2O .

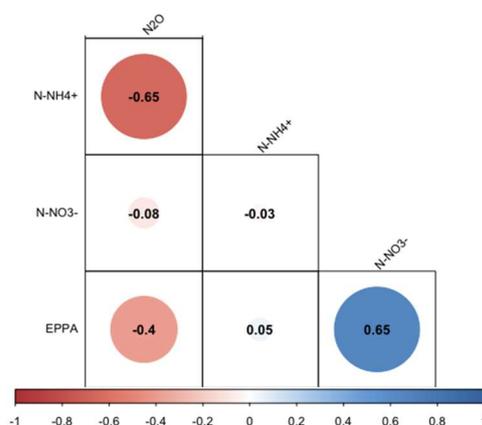


FIGURA 16- CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS DO SOLO N-NH₄⁺ (AMÔNIO), N-NO₃⁻ (NITRATO) E EPPA (ESPAÇO DE POROS PREENCHIDO POR ÁGUA) COM ÓXIDO NITROSO (N₂O). CÍRCULOS VERMELHOS E AZUIS REPRESENTAM CORRELAÇÕES NEGATIVAS E POSITIVAS, RESPECTIVAMENTE. INTENSIDADE DA COR E TAMANHO DOS CÍRCULOS REPRESENTAM A INTENSIDADE DA CORRELAÇÃO. VALORES DENTRO DO CÍRCULO REPRESENTAM OS VALORES DA CORRELAÇÃO. BARRA DE LEGENDA INFERIOR REPRESENTA ESCALA DA CORRELAÇÃO COM INTENSIDADE DE CORES.

O principal fator envolvido nas altas emissões, foi a adubação nitrogenada, já que os menores valores de fluxo foram observados no controle.

Outro fator importante nas altas emissões, foi a forma como o adubo foi aplicado no sistema. A aplicação realizada em superfície teve um

aumento de 2199% nas emissões de N₂O, quando comparadas a aplicação realizada por coveta.

Durante o período avaliado, as emissões de N₂O aumentaram significativamente na aplicação realizada em superfície e coveta (Figura 17), em média 2512% e 313%, respectivamente, em comparação com o controle. As médias de emissões foram de 22,81 µg N m⁻² h⁻¹ no controle, 94,28 µg N m⁻² h⁻¹ na aplicação em coveta e 595,77 µg N m⁻² h⁻¹ na aplicação em superfície.

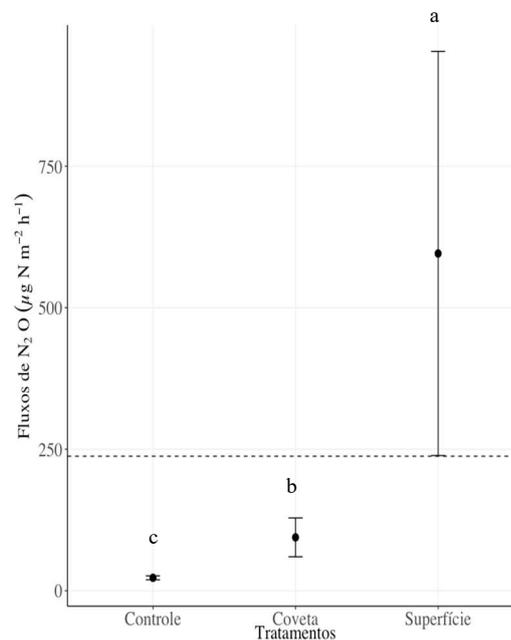


FIGURA 17- MÉDIAS DE N₂O NOS TRATAMENTOS (CONTROLE, APLICAÇÃO DE UREIA EM COVETA E APLICAÇÃO DE UREIA EM SUPERFÍCIE). A LINHA TRACEJADA REPRESENTA A MÉDIA DA POPULAÇÃO GERAL. AS BARRAS COM A MESMA LETRA NÃO DIFEREM DE ACORDO COM O TESTE DE KRUSKAL (P < 0,05). BARRAS VERTICAIS REPRESENTAM O INTERVALOS DE CONFIANÇA DOS DADOS (N = 3).

Os dados de N₂O acumulado durante todo o período de coleta, evidenciaram as maiores emissões decorrentes da adubação nitrogenada aplicada principalmente em superfície (Figura 18).

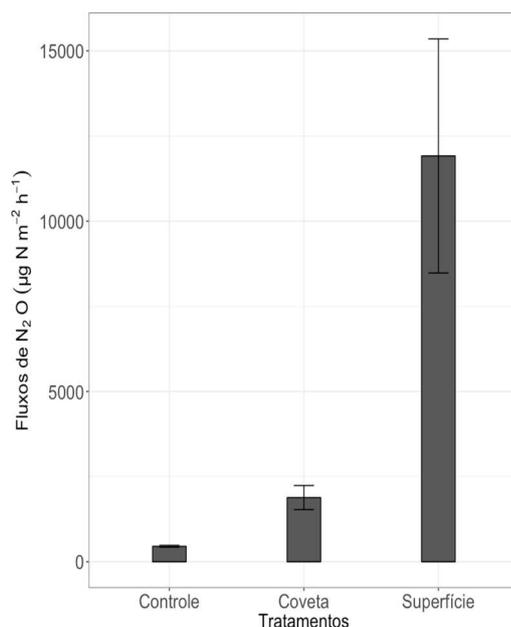


FIGURA 18- EMISSÕES ACUMULADAS DE ÓXIDO NITROSO DURANTE TODO O PERÍODO DE COLETA NA SECA (A) E NA CHUVA (B). BARRAS VERTICAIS REPRESENTAM DESVIO PADRÃO DA MÉDIA (N = 3).

Zhang et al. (2017) trabalhando com níveis crescentes de adubação nitrogenada (0, 84, 167 e 334 kg N ha⁻²) aplicadas a 10 cm de profundidade no solo, em plantações de eucalipto (*Eucalyptus urophylla* × *grandis*) no sul da China concluíram que as emissões de óxido nitroso foram totalmente dependentes da quantidade de adubação aplicada, variando de 11–95 µg m⁻² h⁻¹. De acordo com os autores, tal fato ocorreu pelo aumento do N inorgânico para realização de nitrificação e desnitrificação. No presente estudo, os maiores valores encontrados para aplicação em coveta foi de 490,1828 µg N m⁻² h⁻¹, com médias do tratamento de 94,28 µg N m⁻² h⁻¹, com aplicação de 190 Kg ha⁻¹ de ureia.

Quando o adubo é aplicado em superfície, o processo de volatilização, com perdas de N na forma gasosa, pode levar a baixa eficiência de utilização dos fertilizantes nitrogenados (SOUSA e LOBATO, 2004) e maior contribuição para emissão do óxido nitroso para a atmosfera. Civardi et al. (2011) afirma que para reduzir as perdas de nitrogênio, por volatilização ou outras formas, a incorporação dos fertilizantes nitrogenados ao solo, como o realizado em covetas, é o mais recomendado. De acordo com esse autor, quando a ureia é incorporada

em 5 a 7 cm de profundidade no solo, essas perdas podem ser reduzidas significativamente.

4.2 CRESCIMENTO DAS ÁRVORES

Aos 15 e aos 26 meses, não foi verificada diferenças significativas entre monocultivos de eucalipto adubado e não adubado para as duas variáveis medidas (Figura 19-A, B, C e D). Quando comparado o crescimento do eucalipto dos plantios mistos com o eucalipto adubado em monocultivo, o desenvolvimento em DAP e altura foram maiores em monocultivos (Figura 19-A, C e D - C2), exceto para altura no primeiro ano, onde não apresentaram diferenças (Figura 19-B). O contrário foi observado na acácia, apresentando, aos 26 meses, melhor desenvolvimento em DAP em consórcio quando comparados aos monocultivos (Figura 19-C - C5).

Através dos contrastes significativos e dos valores de DAP (Figura 19-A e C) e altura (Figura 19-B e D), é possível inferir na redução do crescimento do eucalipto em consorcio, comparado ao monocultivo de eucalipto adubado. O eucalipto dentro do 67E:33A apresentou 18% menos crescimento em DAP aos 15 meses, e 29 e 21% menor o crescimento em DAP e altura, respectivamente, aos 26 meses, comparado ao monocultivo de eucalipto adubado. Para o eucalipto dentro do tratamento 50E:50A, apresentou 23% menor crescimento em DAP na primeira avaliação e 32 e 20% menor crescimento em DAP e altura, respectivamente, aos 26 meses, comparado ao tratamento E+N. É possível então, inferir sobre a competição no plantio misto, com perdas iniciais para espécie de eucalipto, pois, mesmo que o crescimento do eucalipto em altura não tenha sido afetado pela presença de *A. mangium* na primeira avaliação, aos 26 meses foi negativamente influenciada, assim como o DAP. Já o crescimento da acácia, não sofreram influencias do eucalipto no tratamento, verificando aumento da competição intraespecíficas e interespecíficas de uma avaliação para outra.

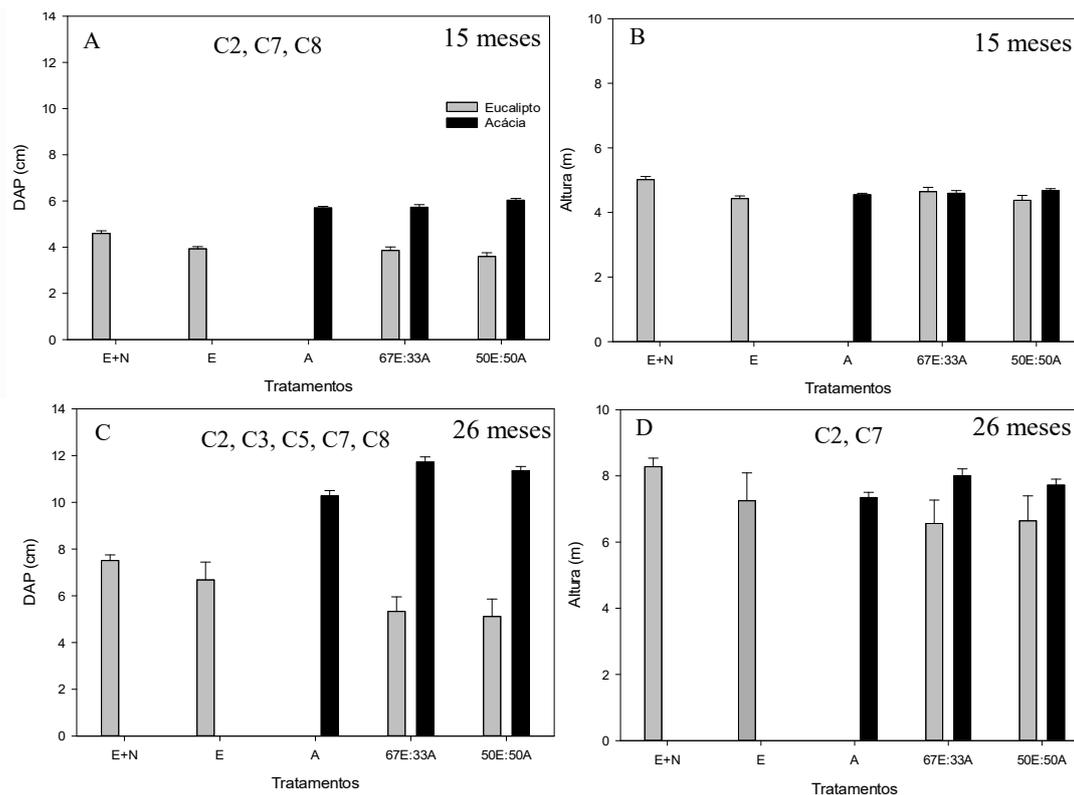


FIGURA 19- CRESCIMENTO EM DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO (DAP) AOS 15 MESES (A) E 26 MESES (C) E; CRESCIMENTO EM ALTURA AOS 15 MESES (B) E 26 MESES (D). OS CONTRASTES (C1 À C8) INDICADOS APRESENTAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS ($P > 0,05$). C1: E+N vs. E, C2: E+N vs. E d/pm, C3: E vs. E d/pm, C4: E67 vs. E50 d/pm, C5: A vs. A d/pm, C6: A33 vs. A50, C7: A vs. E d/ 67E:33A, C8: A vs. E d/ E50:A50. E- EUCALIPTO, N- NITROGÊNIO, A- ACÁCIA; 50, 67 E 33 SÃO A PORCENTAGEM DE EUCALIPTO E ACÁCIA DENTRO DO TRATAMENTO, pm: PLANTIO MISTO, vs.: VERSUS E d/: DENTRO DE. BARRAS VERTICAIS REPRESENTAM O ERRO PADRÃO DA MÉDIA (N = 3).

No trabalho de Laclau et al. (2008), realizado em Itatinga, SP, foi observado que o crescimento da acácia e do eucalipto foram influenciados pelos diferentes arranjos e porcentagem de espécies na área. De acordo com esses autores, o crescimento em altura e AB do eucalipto não sofreu influência da acácia na área, no entanto, as plantas de acácia foram 20% mais baixas e 80% mais finas nos plantios mistos, quando comparados ao monocultivo.

Para o estudo de Paula et al. (2018), os eucaliptos foram significativamente mais altos que as acácias, independentemente da data

de amostragem (estudo realizado até os 42 meses) e nos 24 meses após o plantio, a altura dos eucaliptos não era significativamente diferente entre E e 50E:50A. Porém, a partir de 32 meses, os eucaliptos foram significativamente mais altos em monocultivo do que no eucalipto do plantio misto. Já as acácias, aos 24 meses após o plantio, elas foram significativamente mais altas em 50E:50A do que em monocultivos com alturas de 6,0 e 5,5 m, respectivamente (PAULA et al., 2018).

No trabalho de Bouillet et al. (2013), realizado em cinco locais do Brasil e no Congo, antes dos 20 meses os tratamentos não apresentaram diferenças significativas no crescimento em circunferência e a partir dos 20 meses, o eucalipto teve maior circunferência no tratamento 50E:50A. Nesse mesmo estudo, a espécie de acácia teve menor incremento em CAP quando aumentou a densidade do povoamento e apresentando maior CAP no monocultivo de acácia.

Aos 15 meses, o eucalipto e acácia apresentaram alturas iguais (Figura 19-B). Já na segunda avaliação, aos 26 meses, a acácia foi 1,44 e 1,08 m mais altas que o eucalipto, para os tratamentos 67E:33A e 50E:50A, respectivamente, contrários ao encontrado no estudo de Bouillet et al. (2013), que nos experimentos implantados no Brasil, as acácias foram superadas por eucaliptos no estágio inicial do desenvolvimento, com diferença de altura entre as duas espécies de mais de 4 m entre 18 e 24 meses.

Assim como ocorreu no estudo de Laclau et al. (2008), no presente estudo até os 26 meses, é possível observar um dossel heterogêneo. Forrester et al. (2004) em seu estudo em 11 anos, encontrou que plantios mistos de eucalipto com *Acacia Mearnsii* aumentou significativamente o crescimento da altura de *E. globulus* em apenas dois anos e altura do eucalipto aumentou com a porcentagem de acácia no tratamento e a acácia também foi beneficiada pelo sistema, crescendo na mesma proporção que o eucalipto em plantios mistos até os 5 anos e após isso, o eucalipto sobrepôs a acácia, tendo um dossel mais estratificado.

Voigtlaender (2012) encontrou no final da rotação (aos 6 anos), altura e CAP do eucalipto maior em 50A:50E do que em monocultivo de

eucalipto. Nesse mesmo estudo, em todas as áreas experimentais, as acácias foram dominadas pelas árvores de eucalipto em 50E:50A, desde o estágio inicial de desenvolvimento e o CAP da acácia em monocultivo foi similar ao 50E:50A para algumas áreas e maior em monocultivo de acácia para outras áreas.

O incremento em DAP e altura, dos 15 aos 26 meses, é apresentado na Figura 20. O maior incremento entre as duas avaliações para o DAP e altura para espécie de acácia foi observado no tratamento 67E:33A (5,99 cm e 3,41 m) e 50E:50A (5,33 cm e 3,05 m), apresentando menores ganhos para o monocultivo (4,58 cm e 2,8 m). Para a espécie de eucalipto, o DAP diminuiu com maior proporção de acácia no tratamento, mas sem diferença significativa para os eucaliptos dentro dos plantios mistos. O maior incremento em DAP e altura para o eucalipto, foi no monocultivo de eucalipto adubado (3,05 cm e 3,42 m), seguido do monocultivo de eucalipto sem adubação (2,84 cm e 2,92 m), 67E:33A (2,05 cm e 2,07 m) e 50E:50A (1,68 cm e 2,39 m).

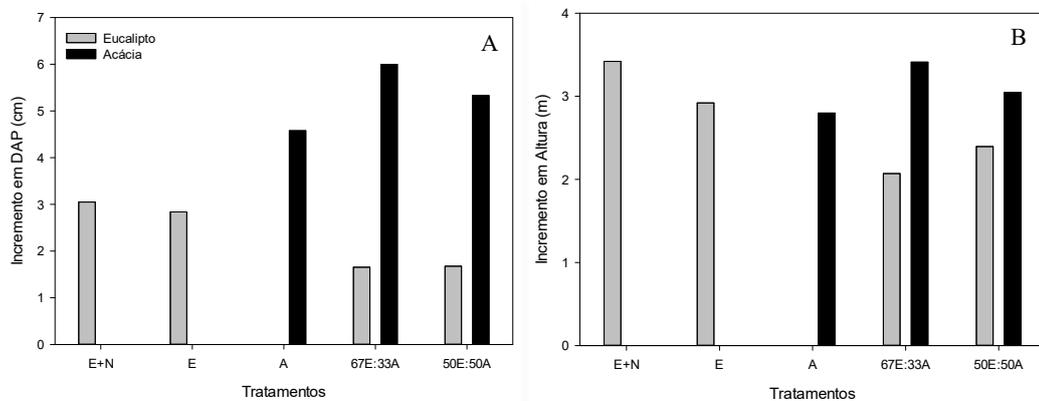


FIGURA 20- INCREMENTO PERIÓDICO EM DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO (A) E ALTURA TOTAL DAS ÁRVORES (B) AOS 15 E 26 MESES.

Silva (2007) em estudo aos 29 meses após o plantio, com as mesmas espécies de nosso estudo, verificou que o eucalipto em consórcio não apresentou diferença no crescimento em altura e área basal, em relação ao monocultivo. Porém, Coelho (2006), em estudo aos 24 meses após o plantio, observou que o crescimento em altura do *E. grandis* nos diferentes tratamentos consorciados com leguminosas arbóreas

apresentou redução do crescimento quando consorciado com *Mimosa scabrella*, mas que isso não ocorreu quando o eucalipto foi consorciado com acácia. No estudo de Forrester et al. (2004), o DAP dos eucaliptos em plantios mistos só foi maior do que em monocultivos a partir dos 4 anos de idade.

Sem apresentar diferenças significativas entre E+N e E, é possível inferir que o DAP e altura do eucalipto adubado foi 14% e 11% respectivamente, maior em relação ao eucalipto não adubado, aos 15 meses. Aos 26 meses, o tratamento de eucalipto adubado, foi 11% maior em DAP e 12% maior em altura, do que o eucalipto sem adubação. Considerando que o eucalipto adubado já estava maior que o eucalipto não adubado (sem diferenças estatísticas), aos 15 meses (Figura 19-A e B), o nitrogênio aplicado aos 23 meses, não influenciou no crescimento até os 26 meses, visto que, dos 15 aos 26 meses, a amplitude aumentou em 1% em altura e reduziu em 3% no DAP.

Sendo assim, até o momento dessas avaliações, não foram observados efeitos positivos significativos da adubação nitrogenada na variável altura para o eucalipto, comprovado pela não diferença significativa com o eucalipto sem adubação. Bouillet et al. (2013) avaliaram crescimento em altura de monocultivos e plantios misto de eucalipto e acácia, e até o final da rotação, não observaram efeitos positivos significativos da adubação nitrogenada na altura do eucalipto em nenhum dos locais que estavam avaliando, com 72, 73, 75, 76 e 77 meses. Nesse mesmo estudo, em um dos locais, o monocultivo de eucalipto sem adubação teve um crescimento maior que as demais espécies e para outros locais, a altura do eucalipto no tratamento 50E:50A foi maior que nos demais tratamentos avaliados.

No trabalho de Laclau et al. (2008), obtiveram alturas maiores aos 4 e 12 meses, no tratamento que recebeu adubação nitrogenada e permaneceu com alturas maiores nesse tratamento, até os 36 meses, mesmo não apresentando diferença significativa.

Em relação à área basal (AB), o eucalipto sem adubação apresentou menor média geral. O eucalipto adubado e o tratamento

67E:33A foram estatisticamente iguais ao eucalipto sem adubação e ao monocultivo de acácia. A acácia em monocultivo apresentou maior média de AB e foi estatisticamente igual ao tratamento 50E:50A (Figura 21).

Maior AB pode ser indicativo de maior volume dentro do sistema. Pensando em matéria prima para energia, por exemplo, os sistemas de plantios mistos podem ser iguais ou mais eficientes que o tratamento controle, por exemplo, por apresentarem área basal maior (50E:50A) ou igual (67E:33A) a esse tratamento (E+N).

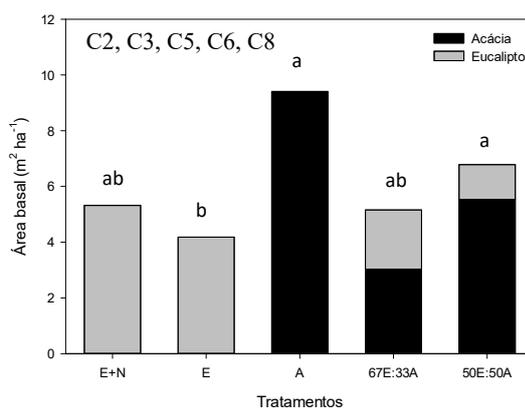


FIGURA 21- ÁREA BASAL PARA OS TRATAMENTOS. OS CONTRASTES (C1 À C8) INDICADOS APRESENTAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS ($P > 0,05$). C1: E+N vs. E, C2: E+N vs. E d/pm, C3: E vs. E d/pm, C4: E67 vs. E50 d/pm, C5: A vs. A d/pm, C6: A33 vs. A50, C7: A vs. E d/ 67E:33A, C8: A vs. E d/ E50:A50. E- EUCALIPTO, N- NITROGÊNIO, A- ACÁCIA; 50, 67 E 33 SÃO A PORCENTAGEM DE EUCALIPTO E ACÁCIA DENTRO DO TRATAMENTO, pm: PLANTIO MISTO, vs.: VERSUS E d/: DENTRO DE. BARRAS VERTICAIS REPRESENTAM O ERRO PADRÃO DA MÉDIA (N = 3).

A aplicação de N no monocultivo de eucalipto, levou a uma maior área basal (AB) de eucalipto ($5,32 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$), comparado aos eucaliptos nos plantios mistos, com valores de $2,1$ e $1,2 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ para os tratamentos 67E:33A e 50E:50A, respectivamente (Figura 21). Mesmo com maior AB, esse tratamento não diferiu estatisticamente do tratamento de monocultivo de eucalipto sem adubação.

Para espécie de acácia, a área basal do tratamento de monocultivo ($9,41 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) diferiu estatisticamente da acácia nos plantios mistos (Figura 21 - C5). A acácia do tratamento 67E:33A também diferiu

em AB da acácia no 50E:50A (Figura 21 - C6), apresentando maior AB para o plantio de 50E:50A. A acácia também diferiu do eucalipto no plantio 50E:50A (Figura 21 - C8).

A competição interespecífica nos consórcios, influenciou positivamente o incremento em AB para a acácia (3,0 e 5,5 m² ha⁻¹, para 67E:33A e 50E:50A, respectivamente) e negativamente o eucalipto (2,1 e 1,2 m² ha⁻¹, para 67E:33A e 50E:50A, respectivamente), ou seja, houve forte competição por água e luz entre as espécies, reiterando a competição de A sobre E mais forte que do E sobre A. Essa competição interespecífica pode ter levado a supressão significativa da AB entre os tratamentos (LACLAU et al., 2008).

O mesmo foi observado na competição intraespecífica, em que a AB no monocultivo de acácia foi superior aos monocultivos de eucalipto (5,3 m² ha⁻¹ E+N e 4,2 m² ha⁻¹ E) (Figura 21). A árvore de acácia em consórcio com eucalipto, pode ter levado a uma maior utilização de água armazenada em camadas mais profundas do solo nos primeiros anos após o plantio, do que nos monocultivos. Portanto, esses tratamentos podem ser mais afetados do que os monocultivos de eucalipto e acácia (BOUILLET et al., 2013).

No estudo de Paula et al. (2018) aos 24 meses, a área basal da acácia foi maior do que do eucalipto e após os 36 meses, a AB no plantio misto de 50E:50A foi maior para o eucalipto e aos 39 meses, o eucalipto teve AB maior no plantio misto quando comparado ao monocultivo.

A introdução de árvores fixadoras de nitrogênio, como *A. mangium*, pode contribuir, a longo prazo, para melhorar os nutrientes, principalmente N, geralmente desequilibrado em plantios de eucalipto (LACLAU et al., 2010a), e para reduzir as necessidades de fertilizantes nitrogenados (BOUILLET et al., 2013). Quando a água não é um fator limitante no local, a associação de *A. mangium* com *Eucalyptus* pode levar a um aumento significativo da produtividade, como se verificou no Congo (BOUILLET et al., 2013).

Os resultados desses mesmos autores sugerem que, em comparação com as monocultivos de eucalipto, as associações provavelmente aumentarão a produção acima do solo em condições tropicais úmidas e quentes, em solos nutrientes pobres com poucas restrições de água.

Segundo Viera et al. (2011) o cultivo misto de eucalipto com espécies fixadoras de nitrogênio (*Acacia mearnsii*) pode apresentar uma alternativa sem perda de produtividade para o produtor florestal.

Alguns trabalhos indicam a melhoria para o solo e para produção do eucalipto quando consorciado com acácia. Bauhus et al. (2004) em seu trabalho realizado na Austrália, avaliando diferentes espaçamentos ($2 \times 3,3$ m e $3 \times 3,3$ m) com *Eucalyptus globulus* e *Acacia mearnsii* em monocultivo e em plantio misto, observaram que em plantios mistos, com 9,5 anos de idade, ocorre efeito sinérgico entre as espécies, com maior produção de biomassa acima do solo em plantios 50E:50A, com biomassas acima do solo de $75,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $83,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ em espaçamento maiores e menores, respectivamente. Isso representou respectivos incrementos de 115% e 140% na produção, em relação à monocultura de *E. globulus*.

Outros estudos realizados por Laclau et al. (2008); Bouillet et al. (2013), demonstraram que a produção de biomassa acima do solo de plantações mistas no sudeste do Brasil não diferiu do monocultivo de eucalipto. Ainda nesses estudos, foi possível observar a baixa resposta à adubação nitrogenada pelos eucaliptos. Já no trabalho de Bouillet et al. (2013), a produção de madeira foi maior no plantio misto quando comparada aos monocultivos de eucalipto, devido principalmente ao bom crescimento da *Acácia mangium*, e a facilitação do N disponível ao eucalipto.

Santos et al. (2016) em estudo semelhante, com as mesmas espécies plantadas em monocultivo e em consórcios, verificaram maiores ganhos em produção de biomassa em plantios mistos quando comparados aos monocultivos. No mesmo estudo, as árvores mais altas e com maiores diâmetros na altura do peito (DAP) foram produzidas pelo tratamento 50E:50A em comparação com E. Ainda, como adicional para o ganho em

produção em plantio misto, esses autores encontraram que, no plantio E50:A50, a curva de crescimento do eucalipto não estagnou até os 60 meses, diferente dos outros tratamentos. A vantagem disso é que a idade de colheita poderá ser estendida, produzindo eucaliptos com maior valor para o mercado de madeira para serraria. A biomassa produzida no plantio misto resultou em maior produtividade geral em comparação com o tratamento E e produtividade similar em relação ao tratamento E+N, onde foram aplicados 120 kg N ha⁻¹ no primeiro ano de plantação (SANTOS et al., 2016).

4.3 ESTOQUE DE SERAPILHEIRA E CONTEÚDO DE NUTRIENTES

4.3.1 Estoque de Serapilheira

O estoque de serapilheira variou de 6,31 Mg ha⁻¹ (A) à 4,89 Mg ha⁻¹ (E). Os tratamentos 50E:50A, E+N e 67E:33A apresentaram valores de 5,48, 5,38 e 5,17 Mg ha⁻¹ respectivamente. Contudo, os cinco tratamentos avaliados não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$). A mata apresentou estoque de serapilheira com valores de 8,00 Mg ha⁻¹, sendo igual ao E+N e ao monocultivo de A (Figura 22).

Por meio do desdobramento dos tratamentos em contrastes, foi possível observar diferença significativa ($p < 0,05$) dos eucaliptos em monocultivo, quando comparados aos eucaliptos dos plantios mistos (C2 e C3). O monocultivo de acácia apresentou diferenças para acácia dos plantios mistos (C5) e para o eucalipto do plantio misto 50E:50A (C8).

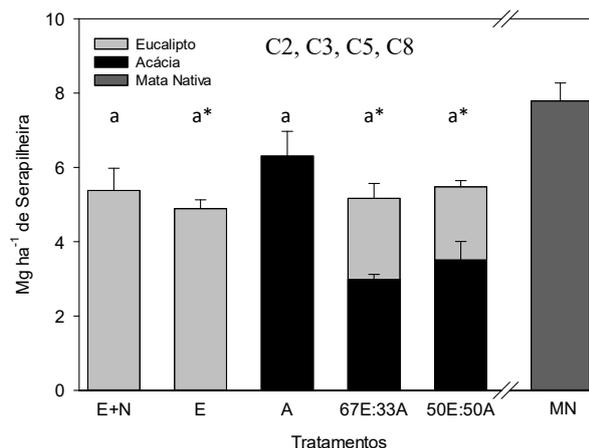


FIGURA 22- ESTOQUE DE SERAPILHEIRA EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS. LETRAS IGUAIS NAS COLUNAS NÃO DIFEREM DE ACORDO COM O TESTE DE TUKEY ($P > 0,05$) E O * INDICA DIFERENÇA SIGNIFICATIVO COM A MATA NATIVA (MN) ATRAVÉS DO TESTE T ($P > 0,05$). OS CONTRASTES (C1 À C8) INDICADOS APRESENTAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS ($P > 0,05$). C1: E+N vs. E, C2: E+N vs. E d/pm, C3: E vs. E d/pm, C4: E67 vs. E50 d/pm, C5: A vs. A d/pm, C6: A33 vs. A50, C7: A vs. E d/ 67E:33A, C8: A vs. E d/ E50:A50. E- EUCALIPTO, N- NITROGÊNIO, A- ACÁCIA; 50, 67 E 33 SÃO A PORCENTAGEM DE EUCALIPTO E ACÁCIA DENTRO DO TRATAMENTO, pm: PLANTIO MISTO, vs.: VERSUS E d/: DENTRO DE. BARRAS VERTICAIS REPRESENTAM O ERRO PADRÃO DA MÉDIA (N = 3).

Os plantios mistos de *Eucalyptus* e *Acacia* (67E:33A e 50E:50A) não promoveram aumento na deposição de serapilheira aos 29 meses, comparado aos plantios de monocultivos. Contudo, esse processo pode ser lento, pois de acordo com estudo de Forrester et al. (2004) com plantios mistos e monocultivos de *E. globulus* e *A. mearnsii*, aos 11 anos de idade, obtiveram no tratamento 50E:50A uma maior produção de biomassa acima do solo (98 Mg ha^{-1}), comparado ao monocultivo de *E. globulus* (47 Mg ha^{-1}).

Entretanto, observando os tratamentos mistos (Figura 22), a contribuição da acácia para a produção geral de serapilheira foi de 58 e 61% nos tratamentos de 67E:33A e 50E:50A respectivamente, da matéria seca total, evidenciando-se a contribuição dessa espécie para o aumento da quantidade de material vegetal depositado sobre o solo. No estudo de Santos et al. (2017b), com monocultivos e plantios mistos de eucalipto e

acácia, aos 58 e 69 meses após o plantio, encontram que, a maior contribuição para produção de serapilheira no plantio misto de 50E:50A foi do *E. urograndis*, com 68% da matéria seca total. Os mesmos autores relatam que, durante o período avaliado, a produção de serapilheira das duas espécies em 50E:50A foi quase sempre maior do que nos plantios de monocultivo de ambas as espécies e que o estoque de serapilheira em monocultivo de acácia foi maior, seguido do plantio misto.

Já no estudo de Laclau et al. (2008), com espécies de acácia e eucalipto em monocultivos e em plantios mistos, encontraram na substituição de 50% das árvores *E. grandis* por árvores de *A. mangium* em 50E:50A uma redução significativa do acúmulo de matéria seca aos 30 meses após o plantio. Voigtlaender (2012) encontrou matéria seca de serapilheira depositada em E aproximadamente 33% maior em relação a A e quase sempre igual ao total do plantio misto, com maior contribuição do eucalipto para a serapilheira do 50E:50A.

4.3.2 Conteúdo de nutrientes na matéria seca da serapilheira

O conteúdo dos nutrientes fósforo (P) e magnésio (Mg) na serapilheira dos tratamentos foram iguais à mata nativa (MN) (Figura 23-B e E). Já para nitrogênio (N), todos os tratamentos apresentaram menor conteúdo que a MN (Figura 23-A). Para o conteúdo de potássio (K), apenas o monocultivo de A foi igual a MN (Figura 23-C) e para cálcio (Ca), apenas esse mesmo tratamento diferiu da MN, apresentando maiores conteúdos no monocultivo (Figura 23-D). Para enxofre (S), somente o E+N diferiu da MN, com menores conteúdos (Figura 23-F). Isso indica a contribuição que a acácia pode levar aos plantios mistos, em aumento de conteúdo de nutrientes na serapilheira, que serão disponibilizados ao solo, a partir da ocorrência do ciclo biogeoquímico.

Os tratamentos mistos não apresentaram diferenças significativas dos monocultivos para os nutrientes potássio (K), nitrogênio

(N) e enxofre (S), apresentando diferença significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos dos demais nutrientes (Figura 23).

Até os 29 meses, os plantios mistos de *Eucalyptus* e *Acacia* não promoveram aumento no conteúdo de N, K e S, em comparação com os monocultivos. Porém, para o P apresentaram conteúdo igual ao monocultivo e para Mg e Ca, apresentaram valores iguais ao monocultivo de acácia e maior que os monocultivos de eucalipto adubado e não adubado. Para esses nutrientes (P, Ca e Mg), os plantios mistos foram beneficiados pelo consórcio de eucalipto e acácia, já que apresentaram valores semelhantes ou maiores que o monocultivo.

Santos et al. (2017a), encontraram valores menores de N, P, Ca e Mg, para o monocultivo de eucalipto sem adubação aos 30 meses, porém, após esse período, a deposição desses nutrientes no tratamento E foi igual à de E+N e excedeu a deposição de P e Mg na monocultivo de *Acácia*. Para nosso estudo, esse tratamento apresentou resultados iguais ao E+N para Ca e Mg e valores iguais ao monocultivo de eucalipto adubado e monocultivo de acácia para o nutriente P.

Mesmo sem apresentar diferença significativa nos tratamentos, a contribuição do N presente na matéria seca da acácia nos plantios mistos foi maior, quando comparado ao eucalipto, com 57 e 65% para o 67E:33A e E50:A50, respectivamente (Figura 23-A).

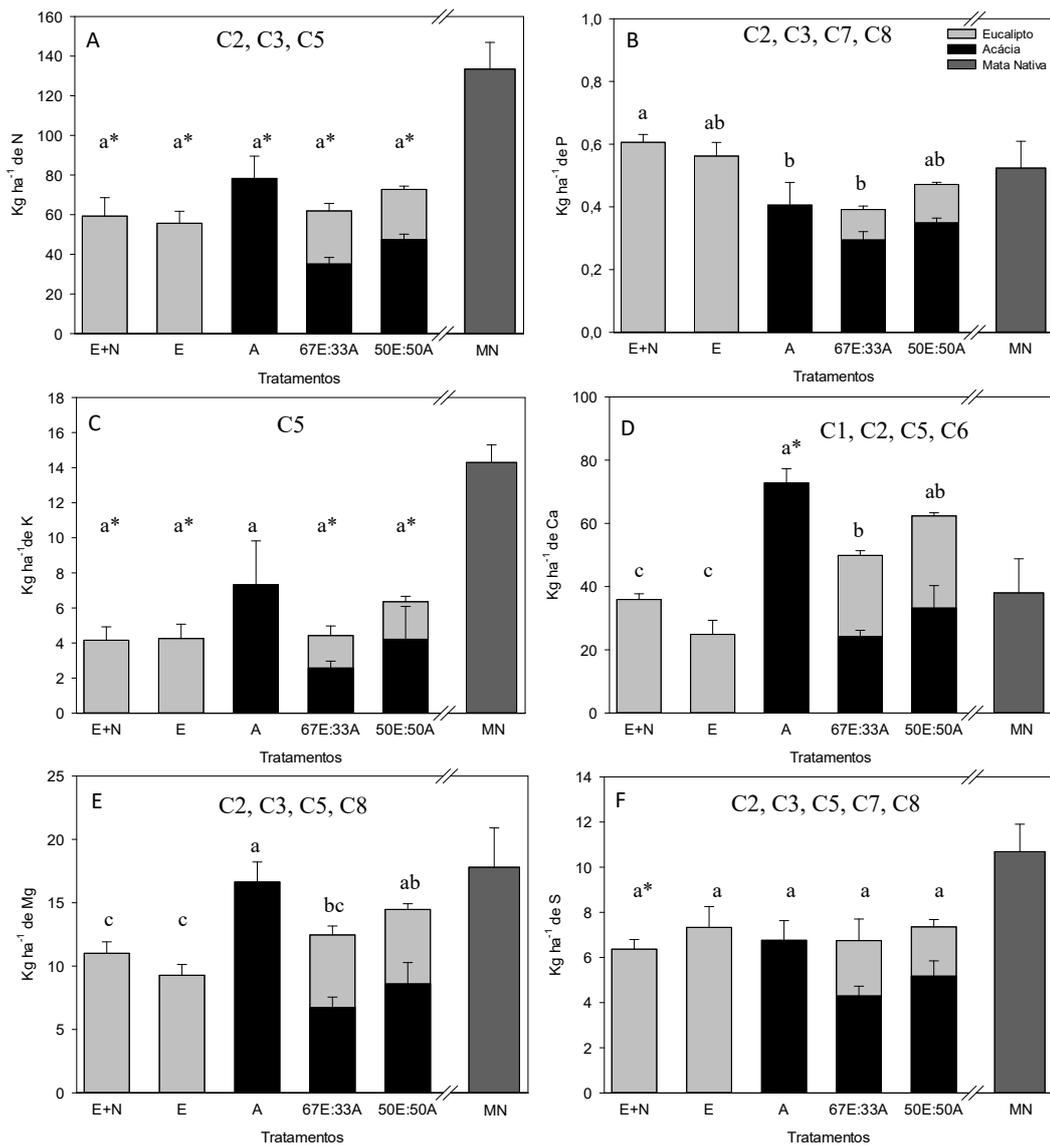


FIGURA 23- CONTEÚDO DE NITROGÊNIO (A), FÓSFORO (B), POTÁSSIO (C), CÁLCIO (D), MAGNÉSIO (E) E ENXOFRE (F) NA MATÉRIA SECA DA SERAPILHEIRA. LETRAS IGUAIS NAS COLUNAS NÃO DIFEREM DE ACORDO COM O TESTE DE TUKEY ($P > 0,05$) E O * INDICA DIFERENÇA SIGNIFICATIVO COM A MATA NATIVA (MN) ATRAVÉS DO TESTE T ($P > 0,05$). OS CONTRASTES (C1 À C8) INDICADOS APRESENTAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS ($P > 0,05$). C1: E+N vs. E, C2: E+N vs. E d/pm, C3: E vs. E d/pm, C4: E67 vs. E50 d/pm, C5: A vs. A d/pm, C6: A33 vs. A50, C7: A vs. E d/ 67E:33A, C8: A vs. E d/ E50:A50. E- EUCALIPTO, N- NITROGÊNIO, A- ACÁCIA; 50, 67 E 33 SÃO A PORCENTAGEM DE EUCALIPTO E ACÁCIA DENTRO DO TRATAMENTO, pm: PLANTIO MISTO, vs.: VERSUS E d/: DENTRO DE. BARRAS VERTICAIS REPRESENTAM O ERRO PADRÃO DA MÉDIA (N = 3).

Aos 30 e 60 meses, Santos et al. (2017b) encontraram que, o retorno de N através da serapilheira durante o ano foi sempre maior onde tinha acácia (A>50E:50A>E+N) e na idade de 30 meses, encontraram que a maior contribuição do N no plantio misto também foi decorrente da acácia. Aos 39 meses após o plantio, o estudo de Paula et al. (2018) mostrou que o teor de N na biomassa de árvores acima do solo foi igual para o monocultivo de eucalipto, monocultivo de acácia e eucalipto dentro do 50E:50A e o teor de N na acácia do plantio misto, apresentou-se menor.

Para o fósforo, o plantio misto de 50E:50A (0,47 Kg ha⁻¹) apresentou valores iguais ao monocultivo de eucalipto adubado (0,61 Kg ha⁻¹) e não adubado (0,56 Kg ha⁻¹) e foi igual ao monocultivo de acácia (0,41 Kg ha⁻¹). O monocultivo de acácia também apresentou resultados semelhantes ao plantio misto 67E:33A (0,39 Kg ha⁻¹) (Figura 23-B).

Nos plantios mistos, a acácia teve alta contribuição nesse nutriente, com 75% no 67E:33 A e 74% no 50 E: 50A. Santos et al. (2017b) estudando a decomposição da serapilheira, encontrou valores de P maiores nos tratamentos com eucalipto, com valores semelhantes para E+N e 50E:50A e valores bem inferiores no monocultivo de acácia. Além disso, nesse mesmo estudo, a contribuição do eucalipto para esse nutriente no plantio misto foi de 79%.

No trabalho de Santos et al. (2017b), os autores observaram que a deposição de N por eucalipto foi sempre menor do que as árvores de *Acácia*, enquanto a deposição de P por acácia foi sempre menor do que a do eucalipto, em ambos os casos nos monocultivos.

No entanto, a deposição destes nutrientes nos plantios mistos foi significativamente maior do que observado nas monocultivos de *Eucalyptus* (para N) e *Acacia* (para P). Os autores observaram ainda, que aos 30 meses, o N apresentou maiores valores na acácia pura, seguindo do tratamento 50E:50A e 100E:100A e com valores bem inferiores no E e E+N. No entanto, aos 60 meses, esses valores se equivalem, não apresentando diferenças entre o tratamento de A e 50E:50A.

Os valores de K variaram de 7,32 Kg ha⁻¹ no monocultivos de acácia à 4,15 Kg ha⁻¹ no monocultivo de eucalipto adubado, com valores de 4,25, 4,42 e 6,35 Kg ha⁻¹ para os tratamentos de monocultivo de eucalipto sem adubação, plantios mistos de 67E:33A e 50E:50A, respectivamente. Do conteúdo total de K no tratamento E67:A33, 58% foram provenientes da acácia e no 50E:50A 66% também advindo da acácia (Figura 23-C).

O maior valor de Ca foi obtido no tratamento de A, com 72,76 Kg ha⁻¹ e que foi estatisticamente igual ao plantio misto de 50E:50A (62,35 Kg ha⁻¹). Os menores valores foram apresentados nos monocultivos de eucalipto adubado e sem adubação, com valores estatisticamente iguais de 24,88 e 35,91 Kg ha⁻¹, respectivamente. Para esse nutriente, a acácia e eucalipto estavam distribuídos de forma igual ou muito próximas nos plantios mistos, sendo no tratamento 67E:33A a acácia contribuiu com 49% e para o tratamento E50:A50, a acácia contribuiu com 53% (Figura 23-D).

Assim como o Ca, o conteúdo de Mg apresentou maior média no monocultivo de acácia (16,64 Kg ha⁻¹), que foi estatisticamente igual ao plantio misto de 50E:50A (14,47 Kg ha⁻¹). Os monocultivos de eucalipto sem adubação e com adubação foram estatisticamente iguais e apresentaram os menores conteúdos (9,28 e 11,01 Kg ha⁻¹), sendo esses tratamentos, estatisticamente iguais ao 67E:33A (12,46 Kg ha⁻¹). As acácias dos plantios mistos 67E:33A e 50E:50A contribuíram para esse nutriente com 54 e 59%, respectivamente (Figura 23-E).

Para o conteúdo de S, os valores foram muito próximos entre os tratamentos avaliados e não apresentaram diferenças. A acácia teve maior contribuição para esse nutriente dentro dos plantios mistos, contribuindo com 64% no 67E:33A e 70% no E50:A50 (Figura 23-F).

A maior proporção de nutrientes e serapilheira para os plantios mistos foi quase sempre da espécie de acácia. Isso sugere que, a serapilheira dessa espécie pode beneficiar os plantios mistos, podendo contribuir para melhorar a nutrição das espécies cultivadas em plantios consorciados do que em monocultivos de eucalipto.

Embora alguns nutrientes não tenham apresentado diferenças significativas na média geral dos tratamentos, através do desdobramento por contrastes, foi possível observar algumas diferenças estatísticas significativas ($p < 0,05$). Conforme apresentado nos gráficos da Figura 23, o nitrogênio (N), carbono (C), e magnésio (Mg) do monocultivo de eucalipto com e sem adubação, diferiu estatisticamente do eucalipto dos plantios mistos (C2 e C3). Esses mesmos nutrientes diferiram no monocultivo de acácia para acácia dentro dos plantios mistos (C5) e no monocultivo de acácia para o eucalipto dentro do plantio misto 50E:50A (C8).

O fósforo (P) e o enxofre (S), seguiram a mesma tendência de diferença dos nutrientes anteriores, com exceção que, esses nutrientes também diferiram no monocultivo de acácia para acácia do plantio misto 67E:33A (C7). O potássio (K) diferiu estatisticamente apenas no monocultivo de acácia para acácia dentro dos plantios mistos (C5). Já o cálcio (Ca) diferiu entre o monocultivo de eucalipto com e sem adubação (C1), no monocultivo de eucalipto adubado para o eucalipto dentro dos plantios mistos (C2), no monocultivo de acácia para acácia dentro dos plantios mistos (C5) e para as diferentes proporções de acácia no plantio misto (C6).

A decomposição da serapilheira é um processo fundamental no ciclo de nutrientes (MOORHEAD et al., 1996) e desempenha um papel importante na manutenção da fertilidade do solo (BARGALI et al., 1993). Esses nutrientes são disponibilizados através da decomposição, para serem liberados ao solo e reutilizados pelas plantas. Além dos fatores climáticos, edáficos e bióticos que influenciam o processo de decomposição da serapilheira, de acordo com Blair et al. (1988), a qualidade e nutrientes desse material é um fator importante para essa taxa de decomposição.

A relação C:N interfere na decomposição da serapilheira e conseqüentemente disponibilidade dos nutrientes para o solo. Quanto menor essa relação, mais rapidamente o material é decomposto. A relação C:N não teve diferença significativa entre os tratamentos avaliados (Figura 24).

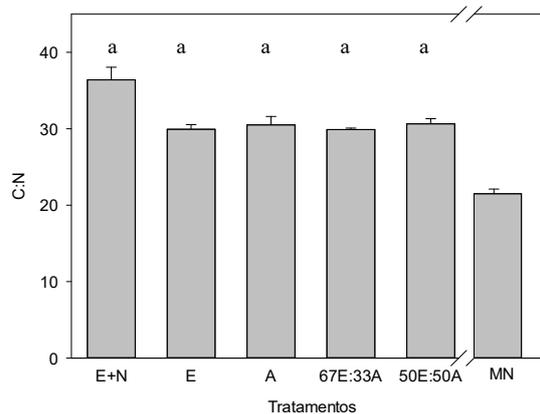


FIGURA 24- RELAÇÃO C:N DA SERAPILHEIRA. AS BARRAS COM A MESMA LETRA NÃO DIFEREM DE ACORDO COM O TESTE DE TUKEY ($P < 0,05$). BARRAS VERTICAIS REPRESENTAM O ERRO PADRÃO ($N = 3$).

No trabalho de Santos et al. (2017b), os autores encontraram que, mesmo o monocultivo de acácia sendo rico em N, a decomposição da serapilheira foi mais lenta, inclusive que o plantio misto ($E+N > 50E:50A > A$). Esses autores relatam que esse processo pode ter sido limitado por uma baixa entrada de P, devido principalmente a produção de serapilheira pobre desse nutriente e que, os plantios mistos não tiveram baixa decomposição pela mistura de serapilheira da acácia, rica em N, misturada com serapilheira do eucalipto, rico em P, atuando de forma sinérgica em favor de uma decomposição mais rápida na serapilheira.

A acácia tem alta capacidade de fixar nitrogênio atmosférico, além de alta produção de serapilheira (MERCADO et al., 2011). No entanto, também apresenta alta capacidade de retranslocar o P internamente (BALIEIRO et al., 2004; SANTOS et al., 2017b), levando a um sistema de decomposição lento devido à alta relação de N:P, influenciada pela produção de serapilheira pobre em P (SANTOS et al., 2017b).

No presente estudo, a relação N:P foi maior alta no tratamento A (196,11), sendo estatisticamente igual aos plantios mistos 67E:33A (158,58) e 50E:50A (155,08). O eucalipto adubado e sem adubação apresentaram valores estatisticamente iguais (98,43) (Figura 25).

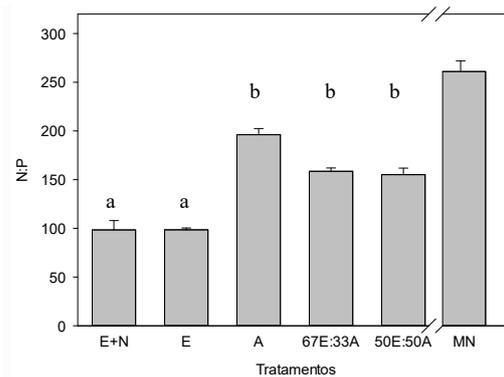


FIGURA 25- RELAÇÃO N:P DA SERAPILHEIRA. AS BARRAS COM A MESMA LETRA NÃO DIFEREM DE ACORDO COM O TESTE DE TUKEY ($P < 0,05$). BARRAS VERTICAIS REPRESENTAM ERRO PADRÃO ($N = 3$).

No entanto, essa não é a única propriedade que afeta a qualidade e a decomposição do material vegetal do solo. Nos estudos de Hättenschwiler e Jørgensen (2010), os autores mostram que a disponibilidade de energia em compostos ricos em carbono, facilmente lixiviáveis e prontamente acessíveis para microbiota, pode influenciar mais na taxa de decomposição do que a quantidade de nutrientes presente na serapilheira. No estudo realizado por Bachega et al. (2016), com *Eucalyptus grandis* e *A. mangium*, os autores encontraram concentrações mais altas de compostos solúveis em água, na serapilheira do eucalipto e concluíram que isso levou a baixa atividade de microrganismos decompositores na espécie de acácia e consequentemente a uma liberação lenta desses nutrientes.

Outras características, como a lignina ou o teor total de fenol são fatores importantes nesse processo (BINI et al., 2013). Os níveis de celulose e lignina no material de *A. mangium* são maiores em relação a *E.urograndis* e o eucalipto contem concentrações mais altas de taninos (hidrossolúvel mais condensado) e polifenóis do que a acácia (SANTOS et al., 2017b). Assim, a maior proporção de componentes recalcitrantes (exemplo da lignina) na espécie de acácia, levam a decomposição lenta de serapilheira, o que influenciará na transferência dos nutrientes para o solo, consequentemente para reutilização pelas plantas, contribuindo lentamente para o desenvolvimento das espécies.

São encontradas maiores concentrações de lignina no monocultivo de acácia (BINI et al., 2013). De acordo com Knorr et al. (2005), a qualidade da serapilheira pode ser classificada com base na concentração de lignina (<10% = alta qualidade, 10 - 20% = qualidade moderada, > 20% = baixa qualidade). O trabalho de Bini et al., (2013) apresentou baixa qualidade para os monocultivos e os plantios mistos. Ainda assim, segundo resultado encontrado por esses autores, a acácia apresenta serapilheira de menor qualidade, de acordo com a concentração de lignina. Dessa forma, a acácia é menos suscetível a rápida decomposição devido a uma maior quantidade de lignina (material mais fibroso, apesar dos maiores níveis de N).

Em plantio misto de eucalipto e acácia, pode-se reduzir a proporção de lignina na serapilheira, aumentar o N, melhorando a qualidade desta. Santos et al. (2017b), evidenciaram de que a maior deposição de N nos plantios mistos melhorou a decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira para o solo, beneficiando a nutrição de ambas as espécies. Os autores observaram ainda que, enquanto o eucalipto depositava mais conteúdo de P através da serapilheira e menor conteúdo de N, na acácia ocorria o oposto, e assim, a deposição geral de nutrientes foi maior nos plantios mistos, especialmente para N e K, do que os monocultivos de *Eucalyptus* e para P, Ca e Mg que a monocultivo *Acacia*.

A *A. mangium* oferece condições melhores para a fertilidade e a biodiversidade do solo do que *E. grandis*, produzindo quantidades maiores de serapilheira, mais rica em N e assim favorecendo os plantios mistos a longo prazo (GARAY et al., 2004).

A introdução de árvores fixadoras de N₂, como *A. mangium*, pode contribuir para os fatores mencionados acima, além de melhorar a disponibilidade de N, geralmente desequilibrado em plantações de eucaliptos (LACLAU et al., 2010a), e reduzir as necessidades de fertilizantes nitrogenados. As maiores quantidades de serapilheira nos plantios mistos em comparação com os monocultivos, também podem aumentar o sequestro de C no solo a longo prazo (RESH et al., 2002).

As maiores quantidades de resíduos de colheita em plantios mistos também devem ajudar a manter a produtividade em solos arenosos intensamente cultivados, onde uma grande proporção da fertilidade do solo vem de matéria orgânica da camada superficial do solo (LACLAU et al., 2010b). Além disso, o rápido fechamento do dossel em comparação com os monocultivos, pode inibir o crescimento de ervas daninhas e reduzir custos com o controle dessas plantas invasoras, bem como os riscos de menor crescimento devido à forte competição de ervas daninhas (BEHLING et al., 2011).

Bouillet et al. (2013), sugerem que, em comparação com os monocultivos de eucalipto, os plantios mistos provavelmente aumentarão a produção acima do solo em condições tropicais úmidas e quentes, em solos pobres de nutrientes e com poucas restrições de água, além de garantir produção sustentável por meio da fixação de N_2 e rápida ciclagem de N e C.

4.4 CARBONO E NITROGÊNIO NO SOLO E NA SERAPILHEIRA

Não houve diferença significativa para os teores de carbono orgânico e nitrogênio no solo entre os tratamentos estudados, nas diferentes profundidades, no entanto, houvesse diminuição desses teores com o aumento da profundidade (Figura 26). O C não diferiu da mata nativa, para nenhum tratamento e em nenhuma profundidade. Já o N na camada de 10-20 cm dos tratamentos E+N, A e 67E:33A, assim como tratamento 50E:50A na camada de 30-50 cm, diferiram da mata nativa.

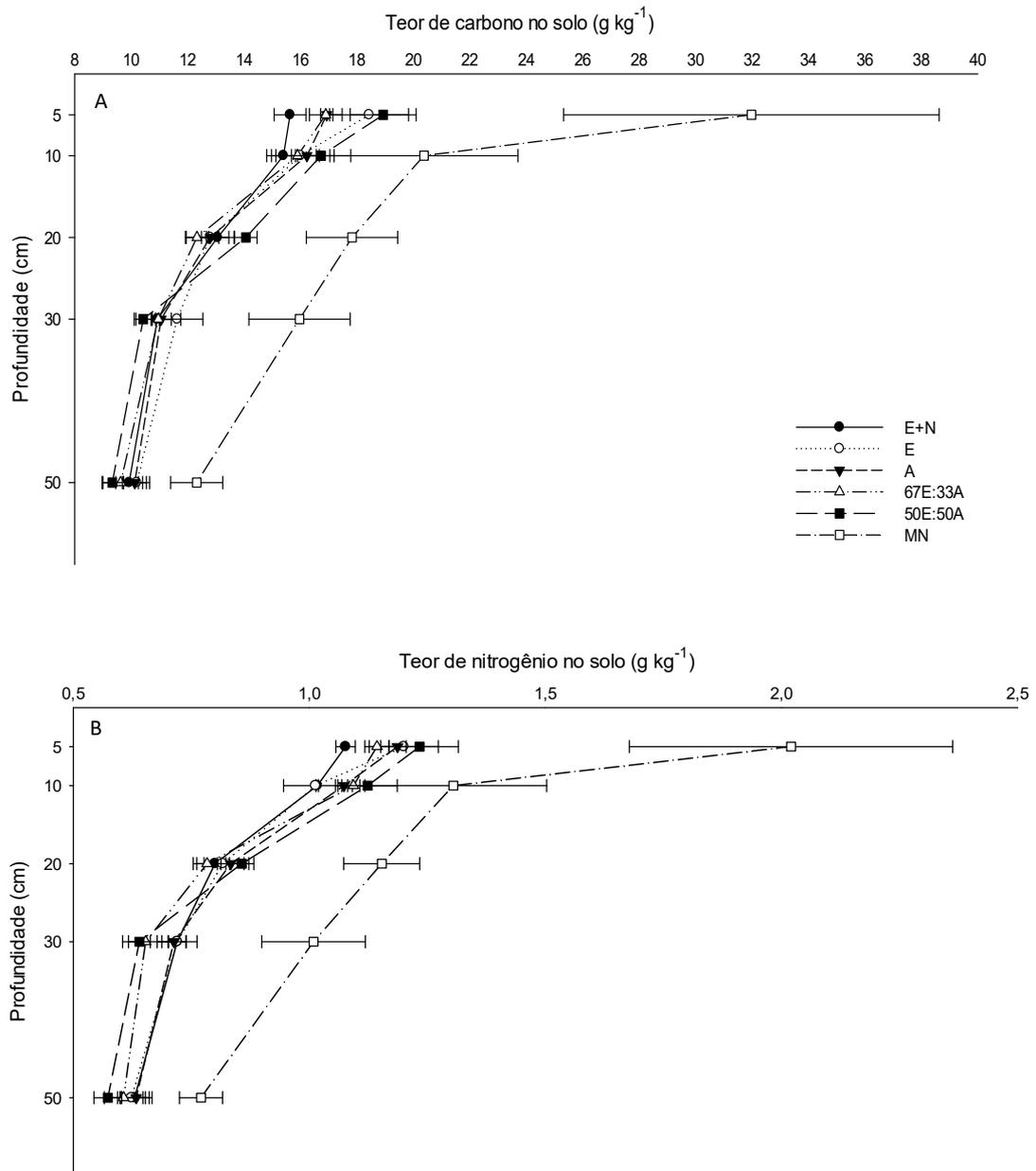


FIGURA 26- TEOR DE CARBONO (A) E NITROGÊNIO (B) NO SOLO (Mg ha^{-1}) NAS DIFERENTES PROFUNDIDADES, AOS 29 MESES APÓS O PLANTIO, NOS DIFERENTES TRATAMENTOS AVALIADOS. AS CAMADAS ENTRE OS TRATAMENTOS NÃO APRESENTARAM DIFERENÇAS, DE ACORDO COM O TESTE DE TUKEY ($P > 0,05$). BARRAS VERTICAIS REPRESENTAM ERRO PADRÃO ($N = 3$).

Estudos realizados por Forrester et al. (2013) na Austrália, encontraram que, aos 8,3 anos de idade, o C do solo foi maior em todos os tratamentos que continham *A. mearnsii* em comparação com a floresta

nativa ou monocultivos de *E. globulus*, com e sem aplicação de fertilizantes e que este efeito foi atribuído a diferenças no C do solo de 10 - 30 cm de profundidade e não encontraram diferenças significativas a 0 - 10 cm de profundidade. Para esse mesmo estudo, o N foi maior no monocultivo de acácia.

O estoque de C na camada de 0 a 50 cm de profundidade variou de 78,42 Mg ha⁻¹ no monocultivo de eucalipto sem adubação a 74,64 Mg ha⁻¹ no tratamento de 67E:33A (Figura 27-A). O tratamento E apresentou 10% de incremento no estoque de C em relação ao tempo zero (70,71 Mg ha⁻¹), entretanto, esse incremento não foi suficiente para se igualar ao estoque de C da mata nativa, que foi 25% maior em relação ao tratamento E. Mesmo o tratamento com valores menores de estoque de C, teve um incremento de 5% em relação ao tempo zero. No entanto, os tratamentos não apresentaram diferenças significativas ($p > 0,05$). A mata nativa (MN) apresentou estoque de C de 104,81 Mg ha⁻¹, apresentando valores iguais a todos os tratamentos. O estoque de carbono dos tratamentos, também não diferiu do tempo zero.

Para o estoque de nitrogênio (N) no solo, observou-se padrão de resposta semelhante ao do C, não sendo verificada diferença estatística entre os tratamentos ($p > 0,05$), variando de 4,77 no tratamento 67E:33A a 5,02 Mg ha⁻¹ no tratamento A (Figura 24-B). O tratamento com maior valor de N (A), apresentou ganho de 12% de N em relação ao tempo zero (4,39 Mg ha⁻¹), no entanto, a mata nativa (MN) foi 24% superior a esse tratamento. A MN apresentou estoque de N de 6,65 Mg ha⁻¹ e assim como o C, não houve diferença dos tratamentos. Os tratamentos também não diferiram do nitrogênio no tempo zero.

Forrester et al. (2006) verificaram em plantios mistos e monocultivos de *Eucalyptus globulus* e *Acacia mearnsii* aos 10 e 11 anos após o plantio, que não houve diferença significativa na alocação anual total de C do solo, mesmo com uma maior produção de biomassa no solo dos plantios mistos. Pares (2002) verificaram valores de 66,3, 85,3 e 79,3 Mg ha⁻¹ para o estoque de C no solo na camada de 0-30 cm de profundidade nos tratamentos E, 50E:50A e A respectivamente, aos 10

anos. Os resultados dos estudos de Huang et al. (2014), com sete anos após o plantio, indicam que o plantio misto com espécies fixadoras de N aumentaram a disponibilidade de N no solo, o sequestro de C, o que posteriormente possibilitou maior armazenamento de C no solo.

No estudo de Voigtlaender et al. (2012) com plantios de seis anos, foi verificado para o estoque de C do solo, nas camadas de 0 - 15 cm de profundidade, valores de 2,13 Mg ha⁻¹ no monocultivo de acácia, 2,28 Mg ha⁻¹ no plantio misto (50E:50A) e 2,19 Mg ha⁻¹ no monocultivo de eucalipto e para o N encontraram valores de 0,121, 0,125 e 0,115 Mg ha⁻¹ para os tratamentos de monocultivo de acácia, 50E:50A e monocultivo de eucalipto, respectivamente.

Os maiores valores de estoques do C total da matéria seca de serapilheira foram observados em A (2,38 Mg ha⁻¹), com valores muito próximos ao menor estoque encontrado, 50A:50E (2,23 Mg ha⁻¹) (Figura 27-C). Assim como observado para o solo, não foram verificadas diferenças no estoque de C total do estoque da serapilheira entre os tratamentos, porém, todos os tratamentos apresentaram estoque de C na serapilheira, inferior a MN.

O fertilizante nitrogenado aplicado ao solo no tratamento E+N, não aumentou o estoque e nem os teores de C e N nas diferentes camadas. A aplicação de fertilizante também não aumentou o C no solo nos estudos de Forrester et al. (2013) e nem a aplicação de 600 kg ha⁻¹ de adubo com N ao longo de 6 anos não aumentou o C no solo sob as plantações de *E. saligna* (BINKLEY et al., 2004).

A quantidade de N estocada na serapilheira dos tratamentos variaram de 0,078 Mg ha⁻¹ (A) a 0,060 Mg ha⁻¹ (E e E+N) (Figura 26-D). Os plantios mistos apresentaram estoques de 0,062 e 0,073 Mg ha⁻¹ para 67E:33A e 50E:50A, respectivamente. Assim como o estoque de C da serapilheira, o estoque de N não diferiu significativamente entre os tratamentos e apenas o monocultivo de E apresentou valores menores que a MN.

No estudo desenvolvido por Voigtlaender (2012) com plantios mistos e monocultivos de acácia e eucalipto, desenvolvidos no Brasil,

encontraram valores de N na serapilheira maiores para os monocultivos de acácia, apresentando valores para o monocultivo de eucalipto igual ao plantio misto.

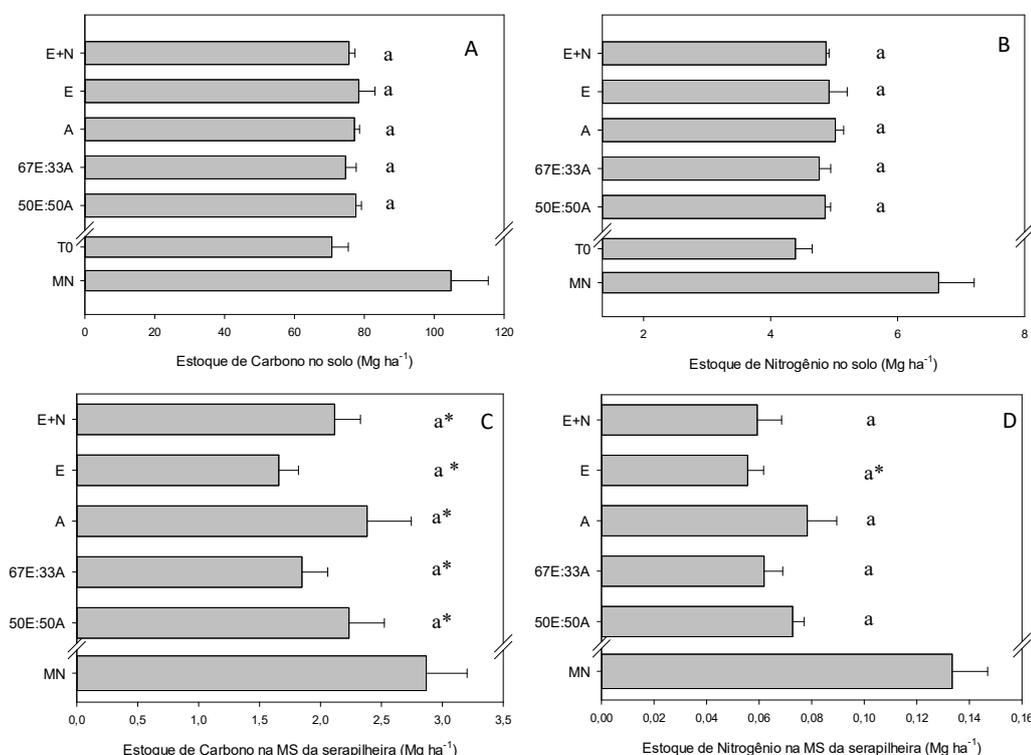


FIGURA 27- ESTOQUE DE CARBONO (A) E NITROGÊNIO (Mg ha⁻¹) (B) DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 0 - 50 CM E; ESTOQUE DE CARBONO (C) E NITROGÊNIO (Mg ha⁻¹) (D) NA MATÉRIA SECA DA SERAPILHEIRA. LETRAS IGUAIS NAS COLUNAS NÃO DIFEREM DE ACORDO COM O TESTE DE TUKEY (P > 0,05) E O * INDICA DIFERENÇA SIGNIFICATIVO COM A MATA NATIVA (MN) ATRAVÉS DO TESTE T (P > 0,05). OS TRATAMENTOS NÃO APRESENTARAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS COM O TEMPO ZERO (P > 0,05). BARRAS VERTICAIS REPRESENTAM O ERRO PADRÃO DA MÉDIA PARA OS TRATAMENTOS (N = 3), MATA NATIVA (N = 3) E TEMPO ZERO (N = 2) .

Voiglaender et al. (2012) encontraram valores de 5,13, 7,71 e 9,13 Mg ha⁻¹ de C na serapilheira, para os tratamentos de monocultivo de acácia, 50E:50A e monocultivo de eucalipto, respectivamente e para o nitrogênio da serapilheira, encontraram valores de 0,192, 0,096 e 0,104

Mg ha⁻¹ para os tratamentos de monocultivo de acácia, 50E:50A e monocultivo de eucalipto, respectivamente.

Paula et al. (2018) encontraram valores de fixação de N₂ de acácias maior no 50E: 50A do que em A, mesmo com o estoque de acácia sendo duas vezes maior em monocultivo do que no plantio misto. Eles explicam que isso pode estar relacionado as maiores utilizadas do N pelo eucalipto no plantio misto e isso levou a uma forte concorrência de N do solo com as acácias, o que provavelmente aumentou as taxas de fixação de N₂ atmosférico.

A maioria dos estudos que mostraram aumento significativo do estoque de C no solo sob espécies fixadoras de nitrogênio em solos tropicais foram realizadas no mínimo 10 anos após a arborização, em áreas cultivadas anteriormente com gramíneas (KAYE et al., 2000 ; RESH et al., 2002 ; MACEDO et al., 2008).

De acordo com Voigtlaender et al. (2012), mesmo o nitrogênio do solo apresentando diferenças na camada de 0-15 cm até a primeira rotação, para os monocultivos e plantios mistos, uma rotação de seis anos pode ter sido muito curta para modificar significativamente o N no solo.

Vezzani (1997), estudando aspectos nutricionais de *Eucalyptus saligna* e *Acacia mearnsii* determinou que a contribuição para maior disponibilidade de N no solo pela serapilheira das plantas de acácia inicia-se a partir dos quatro anos de idade. Já, segundo alguns autores, o tempo necessário para o retorno dos estoques de C aos estoques da vegetação original e atingir um novo equilíbrio, de acordo com alguns autores, pode ser de 20 anos (PULROLNIK et al., 2009; SILVA et al., 2009).

5. CONCLUSÕES

Os fluxos de óxido nitroso ocorrem no período chuvoso, com menores emissões para os plantios mistos, quando comparado ao tratamento controle. Quanto à forma de aplicação do nitrogênio, quando aplicada em covetas, as emissões de óxido nitroso são menores.

Até os 29 meses, o estoque de carbono e nitrogênio do solo, assim como a matéria seca da serapilheira, são iguais em todos os tratamentos. Para os nutrientes da matéria seca da serapilheira, os plantios mistos foram sempre semelhantes a um monocultivo.

Os ganhos de produtividade do tratamento controle em resposta à sua fertilização têm sido relativamente baixos ou ausentes, o que pode indicar que os solos desse estudo podem estar sendo capazes de suprir boa parte da demanda dos nutrientes para as plantas.

A acácia mesmo sendo uma espécie fixadora de N não exerceu influência positiva no crescimento do eucalipto em plantios mistos, ocorrendo competição interespecífica e intraespecífica. No entanto, pode ter favorecido o incremento em área basal e as reduções de N₂O. Sendo assim, os plantios mistos com a presença de acácia podem ser uma alternativa à aplicação de fertilizantes nitrogenados químicos em sistemas com monocultivo de eucalipto, sendo possível produzir a mesma quantidade de biomassa com menor emissão de gases de efeito estufa.

Espera-se que a longo prazo, com as intensificações dos processos de decomposição e ciclagem de nutrientes, ocorra aumento das contribuições positivas da acácia para o sistema.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABA, S.; NDUKWE O. O.; AMU, C. J.; BAIYERI, K. P. The role of trees and plantation agriculture in mitigating global climate change. **African Journal Of Food, Agriculture, Nutrition And Development**, v. 17, n. 4, p. 12691-12707, 2017.

ALMEIDA, J.C.R.; LACLAU, J.P.; GONCALVES, J.L.D.; RANGER, J.; SAINT-ANDRE, L. A positive growth response to NaCl applications in *Eucalyptus* plantations established on K-deficient soils. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 1786-1795, 2010.

ALVARES, C.A., STAPE, J.L., SENTELHAS, P.C., GONÇALVES, J.L.M., SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. v. 22, p. 711-728, 2014.

ARAI, S., ISHIZUKA, S., OHTA, S., ANSORI, S., TOKUCHI, N., TANAKA, N., HARDJONO, A. Potential N₂O emissions from leguminous tree plantation soils in the humid tropics. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 22, p. 1-9, 2008.

ARAÚJO, E.S., MARSOLA, T., MYAZAWA, M., SOARES, L.H.B., URQUIAGA, S., BODDEY, R.M., ALVES, B.J R. Calibração de câmara semi-aberta estática para quantificação de amônia volatilizada do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 769-776, 2009.

AUER, C.G.; SILVA, R. Fixação de nitrogênio em espécies arbóreas. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P. **Microbiologia do solo**, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 1992. p. 157-172.

BACHEGA, L.R.; BOUILLET J-P.; DE CÁSSIA PICCOLO, M.; SAINT-ANDRÉ,L.; BOUVET,J-M.; NOUVELLON, Y. GONÇALVES, J.L.M.; ROBIN,A. LACLAU, J-P. Decomposition of *Eucalyptus grandis* and *Acacia mangium* leaves and fine roots in tropical conditions did not meet the home field advantage hypothesis. **Forest Ecology and Management**, v. 359, p. 33-43, 2016.

BALIEIRO, F. C.; FRANCO, A. A.; PEREIRA, M. G.; CAMPELLO, E. F. C.; DIAS, L. E; FARIA, S. M.; ALVES, B. J. R. Dinâmica da serrapilheira e transferência de nitrogênio ao solo, em plantios de *Pseudosamanea guachapele* e *Eucalyptus grandis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 6, p. 597-601, 2004.

BALIEIRO, F.C.; PEREIRA, M.G.; ALVES, B.J.R.; RESENDE, A.S.; FRANCO, A.A. Soil carbon and nitrogen in pasture soil reforested with eucalyptus and guachapele. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, p. 1253-1260, 2008.

BARGALI, S.S.; SINGH, S.P.; SINGH, R.P.; Pattern of weight loss and nutrient release from decomposing leaf litter in an age series of eucalypt plantations. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 25, p. 1731-1738, 1993.

BARNARD, R.; LEADLEY, P.W. Global change, nitrification, and denitrification: A review. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 19, p. 1-13, 2005.

BARRETO, R. C. **Quantificação de carbono e emissões de gases do efeito estufa sob diferentes tratamentos do solo no cerrado Brasileiro**. 2009. 133 f. Tese (Doutorado em Geoquímica Ambiental) - Universidade Federal Fluminense, Niterói-RJ.

BARRETO, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; FONSECA, S. Contribuição de reservas orgânicas de N em solos sob plantações de eucalypto. In: SEMANA DE ENGENHARIA FLORESTAL, 2, 2011, Vitória da Conquista. **Anais...** Vitória da Conquista: UESB, 2011. p. 48-54.

BATEMAM, E.J., BAGGS, E.M. Contributions of nitrification and denitrification to N₂O emissions from soils at different water-filled pore space, **Biology and Fertility of Soils**, v. 41, p. 379-388, 2005.

BAUHUS, J.; VAN WINDEN, A.P.; NICOTRA, A.B. Aboveground interactions and productivity in mixed-species plantations of *Acacia mearnsii* and *Eucalyptus globulus*. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 34, p. 686-694, 2004.

BAZANI, J. H.; GONÇALVES, J. L. M.; ROCHA, J. H. T.; MELO, E. S. A. C.; PRIETO, M. **Nutrição fosfatada em plantações de eucalypto**. Informações agronômicas N° 148 - 2014. Disponível em: ([http://www.ipni.net/PUBLICATION/IA-BRASIL.NSF/0/642B9B97BDFBC80C83257DB600698A31/\\$FILE/Page1-11-148.pdf](http://www.ipni.net/PUBLICATION/IA-BRASIL.NSF/0/642B9B97BDFBC80C83257DB600698A31/$FILE/Page1-11-148.pdf)). Acesso em: 13 de outubro de 2017.

BEHLING, M., PIKETTI, M.G., FONSECA MORELLO, T., BOUILLET, J.-P., NETO, F.M., LACLAU, J.-P., Potentiel de production des plantations d'eucalyptus sur le pôle sidérurgique de Carajas, en Amazonie: apports du modèle 3-PG. **Bois et Forêts des Tropiques**, v. 3, n. 309, p. 37-49, 2011.

BENATTI, B. P. **Compartimentalização de biomassa e de nutrientes em estruturas de plantas de eucalypto cultivadas em solos distintos**. 2013. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG.

BINI, D.; FIGUEIREDO, A.F.; DA SILVA, M.C.P.; VASCONCELLOS, R.L.F.; CARDOSO, E.J.B.N. Microbial biomass and activity in litter during the initial development of pure and mixed plantations of *Eucalyptus grandis* and *Acacia mangium*. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 37, p. 76-85, 2013.

BINKLEY, D.; KAYE, J.; BARRY, M.; RYAN, M.G. First-rotation changes in soil carbon and nitrogen in a Eucalyptus plantation in Hawaii. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, n. 5, p. 1713-1719, 2004.

BINKLEY, D.; SOLLINS, P.; BELL, R.; DON, S.; MYROLD, D. Biogeochemistry of adjacent conifer and alder-conifer stands **Ecology**, v. 73, p. 2022-2033, 1992.

BLAIR, J.M. Nitrogen, sulphur and phosphorus dynamics in decomposition of deciduous leaf litter in the southern Appalachians. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 20, p. 693-701, 1988.

BRASIL. MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Segundo inventário brasileiro de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa**. Embrapa -Empresa brasileira de pesquisa agropecuária, Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, 2010.

BRASIL. MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Inventário brasileiro das emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa**. Embrapa -Empresa brasileira de pesquisa agropecuária, Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, 2009. 19 p.

BOUILLET, J.-P.; LACLAU, J.-P.; GONÇALVES, J.L.M.; VOIGTLAENDER, M.; GAVA, J.L.; LEITE, F.P.; HAKAMADA, R.; MARESCHAL, L.; MABIALA, A.; TARDY, F.; LEVILLAIN, J.; DELEPORTE, P.; EPRON, D.; NOUVELLON, Y. *Eucalyptus* and *Acacia* tree growth over entire rotation in single-and mixed-species plantations across five sites in Brazil and Congo. **Forest Ecology and Management**, v. 301, p. 89-101, 2013.

BOUWMAN, A. F. Nitrogen oxides and tropical agriculture, **Nature**, v. 392, p. 866-867, 1998.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F., ALVAREZ, V. H., BARROS, N. F., FONTES, R. L., CANTARUTTI, R. B., NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 1, 2007. p. 375-470.

CARMO, J.B.; ANDRADE, C.A.; CERRI, C.C.; PICCOLO, M.C. Disponibilidade de nitrogênio e fluxos de N₂O a partir de solo sob pastagem após aplicação de herbicida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 735-746, 2005.

CARVALHO, M. T. DE M.; MADARI, B.E.; BASTIAANS, L.; VAN OORT, P. A. J.; LEAL, W. G. O.; SOUZA, D.M.; SANTOS, R. C.; MATSUSHIGE, I.; MAIA, A. H.N.; HEINEMANN, A. B.; MEINKE, H. Nitrogen availability, water-filled pore space, and N₂O-N fluxes after biochar application and nitrogen fertilization. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1203-1212, 2016.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J.C.; SILVA, M.L.N; MELLO, C.R.; CERRI, C.E.P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 277-289, 2010.

CARVALHO, A.M.; OLIVEIRA, W. R. D.; RAMOS, M. L. G.; COSER, T.R.; OLIVEIRA, A.D.; PULROLNIK, K.; SOUZA, K.W.; VILELA, L.; MARCHÃO, R.L. Soil N₂O fluxes in integrated production systems, continuous pasture and Cerrado. **Nutrient Cycling Agroecosystems**, v. 108, p. 69-83, 2017.

CARVALHO, A. M. de; COSER, T. R.; SOUZA, K. W. de; ALVES, B. R.; OLIVEIRA, W. R. D. de; RAMOS, M. L. G.; OLIVEIRA, A. D. Avaliação das emissões atmosféricas de gases de efeito estufa na agropecuária. In: LIMA, C. E. P.; FONTENELLE, M. R.; BRAGA, M. B. **Mudanças climáticas e produção de hortaliças**: projeções, impactos, estratégias adaptativas e mitigadoras. Brasília, DF: Embrapa, 2015.

CARVALHO, N. L. DE; ZABOT, V. NITROGÊNIO: NUTRIENTE OU POLUENTE? **Revista Eletetrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 6, n. 6, p. 960-974, 2012.

CHAPUIS-LARDY, L. et al. Soils, a sink for N₂O? A review. **Global Change Biology**, Oxford, v. 13, n. 1, p. 1-17, 2007.

CHRISTINA, M.; LE MAIRE, G.; BATTIE-LACLAU, P.; NOUVELLON, Y.; BOUILLET, J.-P.; JOURDAN, C.; DE MORAES GONCALVES, J.L.; LACLAU, J.-P. Measured and modeled interactive effects of potassium deficiency and water deficit on gross primary productivity and light-use efficiency in *Eucalyptus grandis* plantations. **Global Change Biology**, v. 21, p. 2022-2039, 2015.

CIVARDI, E.A.; SILVEIRA NETO, A.N. RAGAGNIN, V.A.; GODOY, E.R.; BROD, E. Ureia de liberação lenta aplicada superficialmente e Ureia comum incorporada ao solo no rendimento do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 52-59, 2011.

COELHO, S. R. F. **Crescimento e fixação de nitrogênio em plantios mistos de Eucalipto e leguminosas arbóreas nativas**. 2006. 56 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais). Piracicaba: Recursos florestais, Universidade de São Paulo-SP.

COSTA, A. R. da; MADARI, B. E.; CARVALHO, M. T. de M.; MACHADO, P. L. O. de A.; BERNARDES, T. G.; SILVEIRA, P. M. da.. **Uso do Nitrogênio na Agricultura e suas Implicações na Emissão do Gás de Efeito**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009.

CUNHA NETO, F.V.; LELES, P.S.S.; PEREIRA, M.G.; BELLUMATH, V.G.H.; ALONSO, J.M. Acúmulo e decomposição da serapilheira em quatro formações florestais. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 3, p. 379-387, 2013.

DAVIDSON, E.; ROGERS, J.E.; WHITMAN, W.B. Fluxes of nitrous oxide and nitric oxide from terrestrial ecosystems. In: ROGERS, J.E.; WHITMAN, W.B. **Microbial Production and Consumption of Greenhouse Gases: Methane, Nitrogen Oxides and Halomethanes**. American Society for Microbiology, 1991. p. 219-235.

DENDOOVEN E.; BONHOMME R.; MERCKX K., VLASSAK K. N dynamics and N₂O production following pig slurry application to a loamy soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 26, p. 224-228, 1998.

DENK, T.R.A.; MOHN, J.; DECOCK, C.; LEWICKA-SZCZEBAK, D.; HARRIS, E.; BUTTERBACH-BAHL, K.; KIESE, R.; WOLF, B. The nitrogen cycle: A review of isotope effects and isotope modeling approaches. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 105, p.121-137, 2017.

DICK, J., SKIBA, U., MUNRO, R., DEANS, D. Effect of N-fixing and non-N-fixing trees and crops on NO and N₂O emissions from Senegalese soils. **Jornal of Biogeography**, v. 33, p. 416-423, 2006.

DIEL, D., BEHLING, M.; FARIAS NETO A.L.; ISERNHAGEN, E.C.C. Distribuição horizontal e vertical de fósforo em sistemas de cultivos exclusivos de soja e de integração lavoura-pecuária-floresta. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 49, n. 8, p. 639-647, 2014.

EMBRAPA, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Protocolo para medição de fluxos de gases de efeito estufa do solo**. 2014. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1014351>> Acesso em: 03 de maio de 2016.

EMBRAPA AGROSSILVIPASTORIL. **Estação meteorológica automática**. Disponível em: (<https://www.embrapabr/agrossilvipastoril/estacao-meteorologica>). Acesso em: 28 de dezembro de 2017.

EMBRAPA, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. In: CLAESSEN, M.E.C. BARRETO, W.O., LOPES DE PAULA, J., DUARTE, M.N. **Manual de métodos de análise de solo**, 1997. p. 1-212.

ERICKSON, H., KELLER, M., DAVIDSON, E.A. Nitrogen oxide fluxes and nitrogen cycling during postagricultural succession and forest fertilization in the humid tropics. **Ecosystems**, v. 4, p. 67-84, 2001.

ERNANI, P. R.; SANGOI, L.; RAMPAZZO, C. lixiviação e imobilização de nitrogênio num nitossolo com variáveis da forma de aplicação de ureia e da palha de aveia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 993-1000, 2002.

ERREBHI, M.; ROSEN, C.J.; GUPTA, S.C.; BIRONG, D.E. Potato yield response and nitrate leaching as influenced by nitrogen management. **Agronomy Journal**, v. 90, n. 1, p. 10-15, 1998.

FANG, L.; CONG-QIANG, L.; SHI-LU, W. E ZHEN-JIE, Z. Soil temperature and moisture controls on surface fluxes and profile concentrations of greenhouse gases in karst area in central part of Guizhou Province, southwest China. **Environment Earth Science**, v. 67, n. 5, p. 1431-1439, 2012.

FARIA, M.P.; FURTINI NETO, A.E.; MUNIZ, J.A.; CURI, N.; FAQUIN, V. Crescimento inicial da Acácia em resposta a fósforo, nitrogênio, fungo micorrízico e rizóbio. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 20, p. 209-216, 1996.

FORRESTER D.I.; BAUHUS, J.; COWIE, A.L. On the success and failure of mixed species tree plantations: lessons learned from a model system of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. **Forest Ecology and Management**, v. 209, n.1-2, p. 147-155, 2005.

FORRESTER, D.I.; BAUHUS, J.; COWIE, A.L. Carbon allocation in a mixed-species plantation of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. **Forest Ecology and Management**, v. 233, p. 275-284, 2006.

FORRESTER D.I.; BAUHUS, J.; KHANNAC, P.K. Growth dynamics in a mixed-species plantation of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. **Forest Ecology and Management**, v. 193, n. 1-2, p. 81-95, 2004.

FORRESTER, D.I.; PARES, A.; HARA, C.O.; KHANNA, P.K.; BAUHUS, J. Soil organic carbon is increased in mixed-species plantations of *Eucalyptus* and nitrogen-fixing *Acacia*. **Ecosystems**, v. 16, p. 123-132, 2013.

GALLOWAY, J. N.; ABER, J. D.; ERISMAN, J. W.; SEITZINGER, S. P.; HOWARTH, R. W.; COWLING, E. B.; COSBY, B. J. The nitrogen cascade. **Bio Science**, v. 53, n. 4, p. 341-356, 2003.

GALLOWAY, J. N.; TOWNSEND, A. R.; ERISMAN, J. W.; BEKUNDA, M.; CAI, Z.; FRENEY, J. N.; MARTINELLI, L. A.; SEITZINGER, S. P.; SUTTON, M. A. Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions, and potential solutions. **Science**, v. 320, p. 889-892, 2008.

GAMA-RODRIGUES, E. F. **Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo e da serapilheira de povoamentos de eucalipto**. 1997. 108 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; SANTOS, G. A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana

do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 893-901, 2005.

GARAY, I.; PELLENS, R.; KINDEL, A.; BARROSC E.; FRANCO, A. A. Evaluation of soil conditions in fast-growing plantations of *Eucalyptus grandis* and *Acacia mangium* in Brazil: a contribution to the study of sustainable land use. **Applied Soil Ecology**, v. 27, p. 177-187, 2004.

GARCIA-MONTIEL, D.C.; BINKLEY, D. Effect of *Eucalyptus saligna* and *Albizia falcataria* on soil processes and nitrogen supply in Hawaii. **Oecologia**, v. 113, p. 547-556, 1998.

GAZOLA, R. N. **Adubação nitrogenada, fosfatada e potássica na cultura do eucalipto (clone I144 – *E. urograndis*)**. 2014. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira-SP.

GONÇALVES, J.L.D.; ALVARES, C.A.; HIGA, A.R.; SILVA, L.D.; ALFENAS, A.C.; STAHL, J.; FERRAZ, S.F.D.; LIMA, W.D.P.; BRANCALION, P.H.S.; HUBNER, A.; BOUILLET, J.-P.; LACLAU, J.-P.; NOUVELLON, Y; EPRON, D. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 301, n. 1, p. 6-27, 2013.

GONÇALVES, J. L. M; STAPE, J. L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V. A. G.; GAVA, J. L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 3-55.

GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; LACLAU, J.P.; BOUILLET, J.P.; RANGER, J. Assessing the effects of early silvicultural management on long-term site productivity of fast-growing eucalypt plantations: The Brazilian experience. **Southern Forests**, v. 70, p. 105-118, 2008.

GROENIGEN, J. W. V, HUYGENS, D; BOECKX, P.; KUYPER, T. W.; LUBBERS, I.M.; RÜTTING, T.; GROFFMAN, P. M. The soil N cycle : new insights and key challenges. **Soil**, v. 1, p. 235-256, 2015.

HALL, S.J.; MATSON, P.A. Nitrogen oxide emissions after nitrogen additions in tropical forests. **Nature**, v. 400, p. 152-155, 1999.

HÄTTENSCHWILER. S.; JØRGENSEN, H. B. Carbon quality rather than stoichiometry controls litter decomposition in a tropical rain forest. **Jornal of Ecology**, v. 98, p. 754-763, 2010.

HICKMAN, J. E.; CHERYL, A.P.; MUTUO, P.; MELILLO, J.M.; TANG, J. Nitrous oxide (N₂O) emissions in response to increasing fertilizer addition

in maize (*Zea mays* L .) **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. v. 100, p. 177-187, 2014.

HUANG,X.; LIU, S.; WANG, H.; HU, Z.; LI, Z.; YOU, Y. Changes of soil microbial biomass carbon and community composition through mixing nitrogen-fixing species with *Eucalyptus urophylla* in subtropical China. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 73, p. 42-48, 2014.

HWANG, H.Y.; KIM, G.W.; LEE, Y.B.; KIM, P.J.; KIM, S.Y. Improvement of the value of green manure via mixed hairy vetch and barley cultivation in temperate paddy soil. **Field Crops Research**, v. 183, p. 138-146, 2015.

Industria brasileira de arvore (IBA). **Relatório ibá**, 2015. Disponível em: (http://iba.org/images/shared/iba_2015.pdf). Acesso em: 20 de novembro de 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). 2016. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em: 16 de maio de 2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climatic Change 2007: Synthesis Report**, 2007. 23 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climatic Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. TEAM, C.W.; et al. Geneva, Switzerland, 2014. 151 p.

JANTALIA, C.P.; ZOTARELLI, L.; SANTOS, H.P.; TORRES, E.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; ALVES, B.J.R. Em busca da mitigação da produção de óxido nitroso em sistemas agrícolas: Avaliação das práticas usadas na produção de grãos no Sul do Brasil. In: ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; AITA, C.; BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; CAMARGO, F. A. O. **Manejo de sistemas agrícolas: impacto no sequestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa**. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas; Porto Alegre: Gênese, 2006. p. 81-107.

JESUS, G. L.; BARROS, N. F.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L.; HENRIQUES, E. P.; LIMA, V. C.; FERNANDES, L. V.; SOARES, E. M. B. Doses e fontes de nitrogênio na produtividade do eucalipto e nas frações da matéria orgânica em solo da região do cerrado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 201-214, 2012.

KAYE, J.P.; RESH, S.C.; KAYE, M.W.; CHIMNER, R.A. Nutrient and carbon dynamics in a replacement series of Eucalyptus and Albizia trees. **Ecology**, v. 81, p. 3267-3273, 2000.

KIM, G. W.; DAS, S.; HWANG, H. Y.; KIM, P. J. Nitrous oxide emissions from soils amended by cover-crops and under plastic film mulching: Fluxes, emission factors and yield-scaled emissions. **Atmospheric Environment**, v. 152, p. 377-388, 2017.

KNORR, M.; FREY, S.D.; CURTIS, P.S. Nitrogen additions and litter decomposition: A meta-analysis. **Ecology**, v. 86, p. 3252-3257, 2005.

KONDA, R.; OHTA, S.; ISHIZUKA, S.; HERIYANTO, J.; WICAKSONO, A. Seasonal changes in the spatial structures of N₂O, CO₂, and CH₄ fluxes from *Acacia mangium* plantation soils in Indonesia. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, p. 1512-1522, 2010.

KOUTIKA, L.S.; EPRON, D.; BOUILLET, J.-P.; MARESCHAL, L. Changes in N and C concentrations, soil acidity and P availability in tropical mixed acacia and eucalypt plantations on a nutrient-poor sandy soil. **Plant Soil**, v. 379, p. 205-216, 2014.

FORRESTER, D.I.; BAUHUS, J.; COWIE, A.L. On the success and failure of mixed-species tree plantations: lessons learned from a model system of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. **Forest Ecology and Management**, v. 209, p. 147-155, 2005.

LACLAU, P.; RANGER, J.; GONÇALVES, J.L.M.; MAQUÈRE, V.; KRUSCHE, A.V.; M'BOU, A.T.; NOUVELLON, Y.; SAINT-ANDRÉ, L.; BOUILLET, J.-P.; PICCOLO, M.D.C.; DELEPORTE, P. Biogeochemical cycles of nutrients in tropical *Eucalyptus* plantations: main features shown by intensive monitoring in Congo and Brazil. For. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 1771-1785, 2010a.

LACLAU, J.-P., LEVILLAIN, J., DELEPORTE, P., NZILA, J.-D., BOUILLET, J.-P., SAINT-ANDRÉ, L., VERSINI, A., MARESCHAL, L., NOUVELLON, Y., THONGO M'BOU, A., RANGER, J., Organic residue mass at planting is an excellent predictor of tree growth in *Eucalyptus* plantations established on a sandy tropical soil **Forest Ecology and Management**, v. 260, p. 2148-2159, 2010b.

LACLAU, J.P. BOUILLET, J.-P.; GONÇALVES, J.L.M.; SILVA, E.V.; JOURDAN, C.; CUNHA, M.C.S.; MOREIRA, M.R.; SAINT-ANDRÉ, L.; MAQUÈRE, V.; NOUVELLON, Y.; RANGER, J. Mixed-species plantations of *Acacia mangium* and *Eucalyptus grandis* in Brazil. Growth dynamics and aboveground net primary production. **Forest Ecology and Management**, v. 255, n. 12, p. 3905-3917, 2008.

LARA-CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O.; KONDÖRFER, G. H.; PEREIRA, S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura do milho, em sistema plantio direto no triângulo mineiro (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 363-376, 2000.

LINN, D.M., DORAN, J.W. Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and non-tilled soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 48, p. 1267-1272. 1984.

LOICK, N.; DIXON, E.R.; TORRES, M.A.R.R.; CIGANDA, V.; LOPEZ-AIZPUN, M.A.; MATTHEWS, G.P.; MÜLLER, C.; CARDENAS, L.M. Using the Triple Labelling Technique to apportion N₂O Emissions to Nitrification and Denitrification from different Nitrogen Sources at different Water-Filled-Pore-Spaces. **Geophysical Research Abstracts**, v. 19, n. 3, 2017.

LOPES, A.S., GUILHERME, L.R.G. **Uso eficiente de fertilizantes e corretivos agrícolas: Aspectos agronômicos**. 3^a ed. São Paulo, ANDA, 2000. 70 p.

MACEDO, M.O.; RESENDE, A.S.; GARCIA, P.C. Changes in soil C and N stocks and nutrient dynamics 13 years after recovery of degraded land using leguminous nitrogenfixing trees. **Forest Ecology and Management**, v. 255, p. 1516-1524, 2008.

MELO, R.X. **Avaliação de um sistema florestal de curta rotação de *Eucalyptus* spp. em função da desbrota e adubação**. 2016. 62 f. Dissertação (Mestrado em agronomia) - Universidade Estadual Paulista "Júlio De Mesquita Filho", Botucatu-SP.

MERCADO, A.N.; VAN NOORDWIJK, M.; CADISCH, G. Positive nitrogen balance of *Acacia mangium* wood lots as fallows in the Philippines based on 15N natural abundance data of N₂ fixation. **Agroforestry Systems**, v. 81, p. 221-233, 2011.

MINISTERIO DA AGRICULTURA, PECUARIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **O Aquecimento Global e a Agricultura de Baixa Emissão de Carbono**. Brasília: MAPA, 2012.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (MCTI). **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. 2^a ed. Brasília: MCTI, 2014.

MOORHEAD, D.L.; SINSABAUGH, R.L.; LINKINS, A.E.; REYNOLDS, J.F. Decomposition processes: modelling approaches and applications. **The Science of the Total Environment** , v. 183, p. 137-149, 1996.

MOREIRA, J. M. M. Á. P.; SIMIONI, F. J.; OLIVEIRA, E. B. DE. Importância e desempenho das florestas plantadas no contexto do agronegócio brasileiro. **Floresta**, v. 47, n. 1, p. 85-94, 2017.

MORI, T.; ISHIZUKA, S.O.S; KONDA, R.; WICAKSONO, A.; HERIYANTO, J.; HAMOTANI, Y.; GOBARA, Y.; KAWABATA, C; KUWASHIMA, K.; NAKAYAMA, Y.; HARDJONO, A. Soil greenhouse gas fluxes and C stocks as affected by phosphorus addition in a newly established *Acacia mangium* plantation in Indonesia. **Forest Ecology and Management**, v.310, p. 643-651, 2013.

NEVES, A. P. R. **Dinâmica de gases de efeito estufa em plantações de *Acacia mearnsii* de Wildem solos no Bioma Pampa**. 2016. 110 f. Dissertação (Mestrado em Manejo e Conservação do Solo e da Água) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS.

NOBRE, A.D.; KELLER, M.; CRILL, P.M. & HARRIS, R.C. Short-term nitrous oxide profile dynamics and emissions response to water, nitrogen and carbon additions in two tropical soils. **Biology and Fertility of Soils**, v. 34, p. 363-373, 2001.

NOGUEIRA, A.K.S., RODRIGUES, R.A.R., CASTRO, B. S., NOGUEIRA, T.F., SILVA, J.J.N., BEHLING, M., MOMBACH, M., ARMACOLO, N., SILVEIRA, J.G. Emissões de óxido nitroso e metano do solo em áreas de recuperação de pastagens na Amazônia mato-grossense. **Química Nova (Online)**, v. 11, p. 1-7, 2015.

OLIVEIRA, V.A.; AMARAL FILHO, Z.P.; VIEIRA, P.C. Pedologia. In: PROJETO RADAMBRASIL. Folha SD.21 Cuiabá: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, Secretaria-Geral, p. 257-400, 1982.

OLIVEIRA, E. F.; BALBINO, L. C. Efeitos de fontes e doses de nitrogênio aplicado em cobertura nas culturas de trigo, milho e algodão. In: OLIVEIRA, E. F. de; BALBINO, L. C. **Resultados de pesquisa**, Cascavel: Ocepar, 1995. p. 1-95.

PAULA, R.R.; BOUILLET, J-P.; GONÇALVES, J.L.M.; TRIVELIN, P.C.O.; BALIEIRO, F.C.; NOUVELLON, Y.; OLIVEIRA, J.C.; DEUS JÚNIOR, J.C.; BORDRON, B.; LACLAU, J-P. Nitrogen fixation rate of *Acacia mangium* Wild at mid rotation in Brazil is higher in mixed plantations with *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden than in monocultures, **Annals of Forest Science**, v. 75, p. 1-14, 2018.

PARES, A., **Soil Organic Carbon Sequestration in Mixed and Monospecific Plantations of *Eucalyptus globulus* ssp. *pseudoglobulus* and *Acacia mearnsii***. Honours Thesis. The Australian National University, Canberra, 2006. 79p.

PARKIN, T.B.; VENTEREA, R.T. Sampling Protocols. Chapter 3. **Chamber-Based Trace Gas Flux Measurements**. IN Sampling Protocols. R.F. Follett, Editor. p. 1-39, 2010. Disponível em: (www.ars.usda.gov/research/GRACEnet). Acesso em: 01 de maio de 2016.

PATRICK, W.H., JR. Nitrogen transformations in submerged soils. In: STEVENSON, F.J. et al. **Nitrogen in agricultural soils**. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI, 1982. p. 449-465.

PLANO ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono). **Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a**

Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura. Brasília, 2012.

POEPLAU, C.; DON, A. A. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops – A meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 200, p. 33-41, 2015.

PULITO, A.P.; DE MORAES GONCALVES, J.L.; SMETHURST, P.J.; ARTHUR JUNIOR, J.C.; ALVARES, C.A.; TERTULINO ROCHA, J.H.; HUEBNER, A.; DE MORAES, L.F.; MIRANDA, A.C.; KAMOGAWA, M.Y.; et al. Available nitrogen and responses to nitrogen fertilizer in Brazilian eucalypt plantations on soils of contrasting texture. **Forests**, v. 6, p. 973-991, 2015.

PULROLNIK, K.; BARROS, N. F.; SILVA, E.R; NOVAIS, R.F.; BRANDANI, C.D. Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica dos solos sob Eucalipto, pastagem e cerrado no vale do Jequitinhonha-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1125-1136, 2009.

RESENDE, M.; CURI, N & SANTANA, D.P. **Pedologia e fertilidade do solo: Interações e aplicações.** Brasília/Lavras/Piracicaba, MEC/ESAL/POTAFOS, 1988. 81p.

RESH, S.C., BINKLEY, D., PARROTTA, J.A. Greater soil carbon sequestration under nitrogen-fixing trees compared with Eucalyptus species. **Ecosystems**, v. 5, p. 217-231, 2002.

RODRIGUES, R.A.R; MELLO, W.Z. Fluxos de óxido nitroso em solos com cobertura de floresta ombrófila densa montana na serra dos órgãos, Rio de Janeiro. **Química Nova**, Rio de Janeiro, v. 35, n. 8, p. 1549-1553, 2012.

RODRIGUES, R. A. R.; DE MELLO, W. Z.; DA CONCEIÇÃO, M. C. G.; DE SOUZA, P. A.; SILVA, J. J. N. Dinâmica do Nitrogênio em Sistemas Agrícolas e Florestais Tropicais e seu Impacto na Mudança do Clima. **Revista Virtual Química**, v. 9, n. 5, 2017.

ROSA, C. O.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Volatilização de amônia com aplicação de uréia na superfície do solo, no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 35, n. 4, p. 799-805, 2005.

ROSEKRANS, P.; BRÜGGEMANN, N.; PAPEN, H.; XU, Z.; HORVÁTH, L. & BUTTERBACH-BAHL, K. Soil N and C trace gas microbial soil N turnover in a sessile oak (*Quercus petraea*(Matt.) Liebl.) forest in Hungary. **Plant and Soil**, v. 286, p. 301-322, 2006.

SAKATA, R.; SHIMADA, S.; ARAI, H.; YOSHIOKA, N.; YOSHIOKA, R.; AOKI, H.; KIMOTO, N.; SAKAMOTO, A.; MELLING, L.; INUBUSHI, K. Soil Science and Plant Nutrition Effect of soil types and nitrogen fertilizer on nitrous oxide and carbon dioxide emissions in oil palm plantations Effect of

soil types and nitrogen fertilizer on nitrous oxide and carbon dioxide emissions in oil palm plan. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 61, n. 1, p. 48-60, 2015.

SANFORD, R. A.; WANGER, D. D.; WU, Q.; CHEE-SANFORD, J. C. C.; THOMAS, S. H.; CRUZ- GARCIA, C.; RODRIGUEZ, G.; MASSOL-DEYÁE, A.; KRISHNANIF, K. K.; RITALAHTI, K. M.; NISSENG, S.; KONSTANTINIDIS, K. T.; LÖFFLERG, F. E. Unexpected nondenitrifier nitrous oxide reductase gene diversity and abundance in soils. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 109, p. 19709-19714, 2012.

SANGOI, L., ERNANI, P.R., LECH, V.A., RAMPAZZO, C. Lixiviação de nitrogênio afetada pela forma de aplicação da uréia e manejo dos restos culturais de aveia em dois solos com texturas contrastantes. **Ciência Rural**, v. 33, n. 1, p. 65-70, 2003.

SANTOS, M.F.; BALIEIRO, F.C.; ATAÍDE, D.H.S.; DINIZ, A.R.; CHAER, G.M. Dynamics of aboveground biomass accumulation in monospecific and mixed-species plantations of Eucalyptus and Acacia on a Brazilian sandy soil. **Forest Ecology and Management**, v. 363, p. 86-97, 2016.

SANTOS, F.M.; CHAER, G.M.; DINIZ, A.R.; BALIEIRO, F.C. Nutrient cycling over five years of mixed-species plantations of Eucalyptus and Acacia on a sandy tropical soil. **Forest Ecology and Management**, v. 384, p. 110-121, 2017a.

SANTOS, M.F.; BALIEIRO, F.C.; Fontes, M.A.; CHAER, G.M. Understanding the enhanced litter decomposition of mixed-species plantations of *Eucalyptus* and *Acacia mangium*. **Plant and Soil**, v. 423, p. 141-155, 2017b.

SCHUMACHER, M.V.; BRUM, E.J.; RODRIGUES, L.M.; SANTOS, E.M. Retorno de nutrientes via deposição de serapilheira em um povoamento de *Acácia-negra* (*Acácia mearnsii* de Wild.) no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, v. 27, n. 6, p. 791-798, 2003.

SEY, B.K.; MANCEUR, A.M.; WHALEN, J.K.; GREGORICH, E.G.; ROCHETTE P. Small-scale heterogeneity in carbon dioxide, nitrous oxide and methane production from aggregates of a cultivated sandy-loam soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 40, p. 2468-2473, 2008.

SIGNOR, D.; CERRI, C.E.P. Nitrous oxide emissions in agricultural soils : a review. **Pesquisa agropecuária tropical**, v. 43, n. 3, p. 322-338, 2013.

SILVA, E. V. **Desenvolvimento de raízes finas em povoamentos monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus grandis* e *Acacia mangium***. 2007. 55 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais). Piracicaba: Recursos florestais, Universidade de São Paulo-SP.

SILVA, L.G.; MENDES, I.D.; REIS JUNIOR, F.B.; FERNANDES M.F.; MELO, J.T.E.; KATO, E. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de cerrado em plantio de espécies florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 613-620, 2009.

SISTI, C.P.J.; SANTOS, H.P.; KOHHANN, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 76, p. 39-58, 2004.

SMETHURST, P.; HOLZ, G.; MORONI, M.; BAILLIE, C. Nitrogen management in *Eucalyptus nitens* plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 193, p. 63-80, 2004.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. Adubação com nitrogênio. In: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 129-145.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G.; FONSECA, S.; LOOS, R. A.; TAKAHASHI, E. N.; SILVA, C. R.; SILVA, S. R.; HAKAMADA, R. E.; FERREIRA, J. M. A.; LIMA, A. M. N.; GAVA, J. L.; LEITE, F. P.; ANDRADE, H. B.; ALVES, J. M.; SILVA, G. G. C.; AZEVEDO, M. R. The Brazil Eucalyptus potential productivity project: influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**. v. 259, p. 1684-1694, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2009.

TRIBOUILLOIS, H.; CRUZ, P.; COHAN, J.P.; JUSTES, E. Modelling agroecosystem nitrogen functions provided by cover crop species in bispecific mixtures using functional traits and environmental factors. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 207, p. 218-228, 2015.

TRIVELIN, P. C. O.; OLIVEIRA, M. W.; VITTI, A. C.; GAVA, G. J. C.; BENDASSOLLI, J. A. Perdas do nitrogênio da ureia no sistema solo-planta em dois ciclos de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 193-201, 2002.

USSIRI, D.; LAL, R. Formation and release of nitrous oxide from terrestrial and aquatic ecosystems. In: USSIRI, D. A. N., LAL, R. **Soil Emission of Nitrous Oxide and Its Mitigation**. Springer, The Netherlands, 2013. p. 63-96.

VELDKAMP, E. Organic Carbon Turnover in Three Tropical Soils under Pasture after Deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 175-180, 1994.

VEZZANI, F. N. **Aspectos nutricionais de povoamentos puros e mistos de *Eucalyptus saligna* e *Acacia mearnsii***. 1997. 109 f. Dissertação

(Mestrado em Ciência do solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS.

VEZZANI, F. M.; TEDESCO, M. J.; BARROS, N. F. Alterações dos nutrientes no solo e nas plantas em consórcio de eucalipto e acácia negra. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 25, p. 225-231, 2001.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; LIBERALESSO, E. Crescimento e produtividade de povoamentos monoespecíficos e mistos de eucalipto e acácia-negra. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 415-421,

VIERA, M.; SCHUMACHER, M.V.; LIBERALESSO, E.; CALDEIRA, M.V.W.; WATZLAWICK, L.F. Plantio Misto de *Eucalyptus* spp. com Leguminosas Arbóreas Fixadoras de Nitrogênio. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 1, p. 16-25, 2013.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M.V.; ARAÚJO, E.F.; CORRÊA, R.S. CALDEIRA, M.V.W. Deposição de Serapilheira e Nutrientes em Plantio de *Eucalyptus urophylla* × *E. globulus*. **Floresta Ambiente**, v. 21, n. 3, p. 327-388, 2014.

VILLALBA, H.A.G.; LEITE, J.M.; OTTO, R.; TRIVELIN, P.C.O. **Fertilizantes nitrogenados: novas tecnologias**. Informações agrônômicas Nº 148 - 2014. Disponível em: (https://www.researchgate.net/profile/Hugo_Abelardo_Gonzalez_Villalba/publication/304354615_Fertilizantes_nitrogenados_Novas_tecnologias/links/57707a6808ae10de639c0ba0/Fertilizantes-nitrogenados-Novas-tecnologias.pdf). Acesso em: 13 de outubro de 2017.

VOIGTLAENDER, M., **Produção de biomassa aérea e ciclagem de nitrogênio em consórcio de genótipos de *Eucalyptus* com *Acacia mangium***. 2012. 94 f. Tese (Doutorado em ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba -SP.

VOIGTLAENDER, M., LACLAU, J-P., GONÇALVES, J.L.M., PICCOLO, M.C., MOREIRA, M.Z., NOUVELLON, Y., RANGER, J., BOUILLET J-P. Introducing *Acacia mangium* trees in *Eucalyptus grandis* plantations: consequences for soil organic matter stocks and nitrogen mineralization. **Plant Soil**, v. 111, p. 352-99, 2012.

ZHANG, K.; ZHENG, H.; CHEN, F.; LI, F.; YANG, M.; OUYANG, Z.; LAN, J.; XIANG, X. Impact of nitrogen fertilization on soil – Atmosphere greenhouse gas exchanges in eucalypt plantations with different soil characteristics in southern China. **Plos One**, p. 1-14, 2017.

YU, X.B.; CHEN, Q.B.; WANG, S.M.; MO, X.Y. Research on land degradation in forest plantation and preventive strategies. In: YU X. B. **Studies on long-term productivity management**

of *Eucalyptus* plantation. Beijing: China Forestry Publishing House, 2000.
p. 1-7.